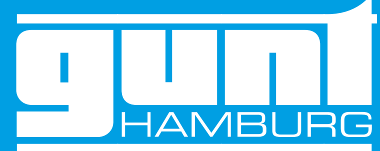


Équipements
pour l'enseignement
technique

Génie frigorifique et génie climatique

3a

Table des matières

Bienvenue chez GUNT

Dans ce catalogue, nous vous donnons une vue d'ensemble très complète de nos appareils innovants de démonstration et d'essai.

Appareils GUNT pour:

- l'apprentissage des métiers techniques
- la formation professionnelle et continue du personnel technique dans l'artisanat et l'industrie
- les études d'ingénieur

Mentions légales

GUNT ne peut être tenu responsable de toute erreur d'impression.
Sous réserve de modifications.

Crédits photo: G.U.N.T. Gerätebau GmbH, photos fabricant, Shutterstock, 123RF.
Conception graphique & mise en page: Profisatz.Graphics, Bianca Buhmann, Hambourg.
Impression: imprimé sur papier écologique, blanchi sans chlore.

Génie frigorifique et génie climatique



Génie frigorifique et génie climatique chez GUNT

Le **génie frigorifique et climatique** compte parmi les thématiques les plus importantes du 21ème siècle. Le développement des techniques de refroidissement a rendu possible la conservation des denrées périssables. De même, la production de plastiques hautes performances serait inconcevable sans les possibilités offertes par le refroidissement de processus.

La climatisation des bâtiments et des véhicules est également devenue indispensable en raison d'un désir légitime de confort. Bien que le génie climatique et le génie frigorifique soient étroitement liés, il s'agit de deux sous-disciplines indépendantes.

Les méthodes et procédés utilisés pour produire du froid sont appelées **génie frigorifique**. Les connaissances théoriques du génie frigorifique couvrent l'ensemble du domaine des sciences naturelles. Outre des connaissances approfondies en thermodynamique, des connaissances complémentaires en génie mécanique, transfert de chaleur, chimie, génie des procédés thermiques, construction d'appareils et technique de mesure et de régulation sont nécessaires.

Le **génie climatique**, qui constitue une sous-discipline de la technique d'approvisionnement (CVCS), comprend la régulation de la température de local, de l'humidité de l'air et de la qualité de l'air. Une installation de climatisation peut chauffer, refroidir, humidifier, déshumidifier et filtrer. L'élément central d'une installation de climatisation est toujours une installation frigorifique.

GUNT présente de manière brève et compacte la thématique du génie frigorifique et climatique dans son catalogue principal 3 **Génie thermique et énergie**.

Cette sous-discipline importante de la thermodynamique est examinée en détail dans le présent catalogue 3a **Génie frigorifique et génie climatique.**



Les filières d'études, toutes les sciences de l'ingénieur telles que

- génie mécanique
- génie environnemental
- sciences naturelles appliquées
- ingénierie industrielle
- génie civil et architecture
- génie énergétique
- génie des procédés



Apprentissage en

- génie frigorifique
- mécatronique
- technique de ventilation

Filières d'études

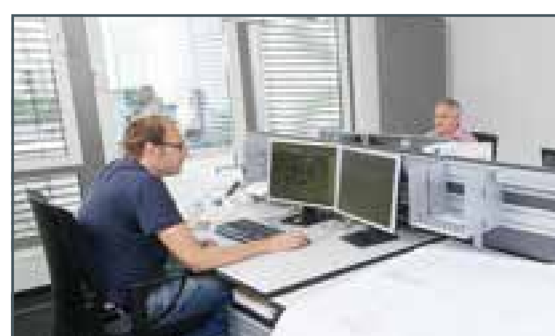
- génie mécanique
- ingénierie des approvisionnements
- génie civil
- ingénierie de l'environnement
- génie frigorifique
- ingénierie de bâtiment
- gestion des installations
- ingénierie climatique

Qu'est-ce que GUNT peut faire pour vous?

Compte tenu des exigences croissantes en matière d'efficacité énergétique des installations frigorifiques et de climatisation, de la réglementation toujours plus complexe et des nouveaux concepts d'installation, il est essentiel que les futurs ingénieurs et techniciens acquièrent de solides connaissances dans ce domaine. GUNT développe des produits et solutions didactiques. Nos appareils destinés à la formation se caractérisent par une orientation pratique et des standards de qualité élevés.

Notre offre pour la formation technique Made in Germany s'appuie sur une expérience de plus de 40 ans. Nos systèmes complets sont parfaitement adaptés les uns aux autres et peuvent être utilisés rapidement et efficacement en cours, dans le secondaire ou les études supérieures.









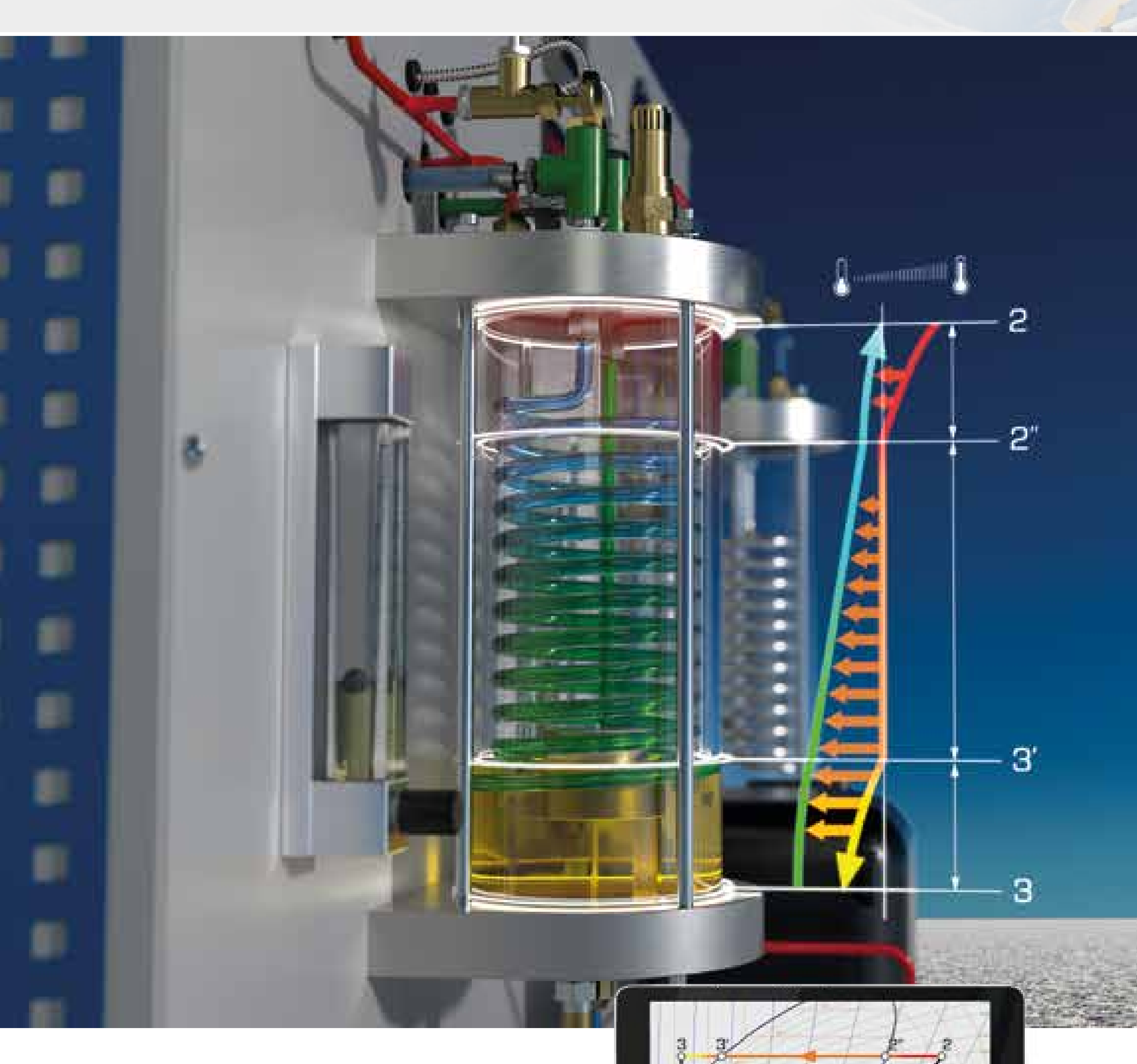


Nous planifions, développons et fabriquons des appareils autonomes, des systèmes d'exercices modulaires et des laboratoires spécialisés complets. Nous proposons pour nos produits des formations utilisateurs ainsi que des formations à la réalisation des essais, chez vous ou dans notre Technical Academy.

Notre savoir-faire vous fait avancer!



Systèmes de formation GUNT



Nous rendons visibles et tangibles les transformations d'état complexes se produisant normalement de manière invisible dans les systèmes de tuyauterie des installations frigorifiques et de climatisation. Les changements dans la gestion opérationnelle sont mesurés et affichés de manière dynamique dans le diagramme en temps réel.

Nos appareils combinent les méthodes les plus efficaces de l'apprentissage actif et passif. L'apprentissage durable des formules thermodynamiques et de leurs interdépendances n'a jamais été aussi facile!

GUNT propose une gamme complète pour toutes les problématiques relatives au génie frigorifique et climatique. Les systèmes de formation sont adaptés aussi bien à la formation professionnelle de mécatronicien en génie frigorifique qu'aux études d'ingénieur.

Exercices proches de la pratique

- assembler
- ajuster
- vérifier
- échanger

Études scientifiques

- liens thermodynamiques
- observations du cycle
- bilans énergétiques et efficacité énergétique
- rendements

Notre concept didactique complet se compose de:

- appareil d'essai
- technique de mesure
- logiciel adapté
- documentation didactique
  - arrière-plan théorique
  - mode d'emploi détaillé des essais
  - fiches de travail pour les élèves
  - des solutions et des conseils pour les enseignants
  - logiciel d'apprentissage

Laissez-vous convaincre par la qualité exceptionnelle de nos appareils. Nous nous réjouissons de votre visite à notre Technical Academy.

Avec vous, nous investissons dans l'avenir

Le règlement européen 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés est déjà entré en vigueur et impose des exigences élevées en matière d'utilisation responsable de ces agents réfrigérants.

Le potentiel de réchauffement global (GWP Global Warming Potential) relatif sert de base à l'évaluation des agents réfrigérants. La valeur GWP d'une substance indique le facteur de contribution de cette substance au réchauffement climatique par rapport au CO_2. Le CO_2 a un GWP de 1. L'équivalent CO_2 se calcule comme suit:

Équivalent CO_2 = GWP x quantité de remplissage en agent réfrigérant

A fortiori dans le domaine de l'enseignement, nous considérons qu'il est de notre devoir d'apprendre à la jeune génération comment utiliser les ressources de manière responsable. Nous profitons des nouvelles réglementations pour contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique. Grâce au concept écologique de nos appareils, nous vous dispensons de diverses obligations réglementaires pour l'opérateur!

Tous nos appareils sont conçus de manière à ne pas dépasser un équivalent CO_2 de 5t. Ainsi, nos appareils:

- ne sont pas concernés par l'obligation d'entretien au sens de l'art. 4, paragraphe (1) du règlement,
- ne sont pas soumis à l'obligation de tenir à jour des registres conformément à l'art. 6 paragraphe (1) et
- ne requièrent (pour la quasi-totalité de nos appareils) aucun certificat pour leur acquisition et leur exploitation.





Formation en génie frigorifique et génie climatique avec les systèmes de formation GUNT

La formation au métier de mécatronicien en génie frigorifique est particulièrement exigeante étant donné qu'elle requiert l'acquisition des principes de base scientifiques de disciplines très diverses. Outre les compétences techniques, le travail sur ordinateur ainsi que l'analyse et l'interprétation des données de mesure y jouent un rôle central. Le mécatronicien en génie frigorifique s'occupe de la planification, du calcul, du montage, de la maintenance, de l'entretien et de la réparation des installations frigorifiques complexes ainsi que des installations de climatisation et des pompes à chaleur. Après le montage, il vérifie le bon fonctionnement de l'installation, la met en service et forme le client à son utilisation.

Champs d'apprentissage pour la formation de mécatronicien frigoriste

Génie frigorifique	Génie climatique	Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique
Liens fonctionnels dans le circuit frigorifique	Étude des états de l'air	Bases de l'électrotechnique
Fabrication de systèmes partiels mécaniques	Liens fondamentaux en ventilation et climatisation	Consommateurs sur le courant alternatif monophasé
Thermodynamique, diagramme log p,h	Éléments de construction et fonctionnement de l'installation de climatisation	Protection contre les risques électriques
Agents réfrigérants et lubrifiants	Climatisation, diagramme h,x	Commandes simples en génie frigorifique
Régulateurs primaires et secondaires	Circuit d'air dans le système de conduits	Consommateurs sur le courant alternatif triphasé
Échangeurs de chaleur	Mesures d'ignifugation	Entraînements électriques et recherche de pannes
Compresseurs	Économie d'énergie	Régulation d'installations frigorifiques
Tuyauterie		Automatisation de bâtiments
Dépannage, maintenance et élimination		

est couvert par des appareils GUNT

Structure du catalogue

Le catalogue est divisé en trois domaines principaux: le **génie frigorifique**, le **génie climatique** et **l'électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique.** Des pages d'informations reprenant ce que l'on appelle les connaissances de base précèdent les sous-chapitres et expliquent d'une manière très compréhensible les liens techniques et physiques. Ainsi il est possible d'entrer facilement dans chaque champ thématique du catalogue.

Domaine	Sous-chapitre
Génie frigorifique	Principes de la production du froid
	Systèmes d'exercice
	Thermodynamique du cycle frigorifique
	Composants du génie frigorifique et montage, dépannage, maintenance
	Pompes à chaleur et accumulateur de glace
	Réfrigération solaire
Génie climatique	États de l'air
	Bases du génie climatique
	Installations de climatisation proches de la pratique
	Technique de ventilation
Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique	Commande en génie frigorifique
	Régulation d'installations frigorifiques
	Recherche de pannes électriques


une orientation expérimentale la plupart du temps


une orientation artisanale la plupart du temps





1

Principes de base du génie frigorifique

Introduction

Principes de la production du froid

Installation frigorifique à compression

Systèmes d'exercice



Introduction aux principes de base du génie frigorifique

Qu'est-ce que le froid?



Presque tous les enfants ont déjà une idée de ce qu'est le froid, étant donné que les humains ont la sensation du froid. Mais du point de vue physique, c'est une notion qui reste compliquée à expliquer. Le froid n'est ni une matière, ni une forme d'énergie. Pour faire simple, on peut dire que le "froid" correspond au manque de "chaud". Lorsque l'on parle de "froid", la température à un endroit est alors inférieure à celle de l'environnement, on est en présence d'un différentiel de température.

D'un point de vue thermodynamique, le "froid" est un état de déséquilibre. En présence d'un état de déséquilibre thermodynamique, la nature s'efforce toujours de le compenser. Conformément au deuxième principe de la thermodynamique, cette compensation s'effectue toujours de l'endroit dont la température est élevée vers l'endroit où la température est faible. Pour reprendre l'exemple de départ de l'enfant, on a un différentiel de température entre la peau et l'environnement. La chaleur est transférée par la peau à l'environnement, et la peau est refroidie par cette évacuation de chaleur.

Le génie frigorifique consiste à concevoir des solutions techniques pour générer des températures inférieures à la température ambiante. La chaleur doit donc être transportée dans la direction opposée à celle qu'elle prend naturellement. Pour générer et maintenir ce flux d'énergie, le cycle frigorifique doit être alimenté en permanence en énergie.

Les ingénieur-e-s se trouvent confronté-e-s à la thématique du refroidissement dans de nombreux domaines. L'évacuation de la chaleur lors de la fabrication et de la production, ou la climatisation des bâtiments, nécessitent des connaissances en génie frigorifique. Le génie frigorifique possède un grand nombre d'applications dans la construction de machines et d'installations, ainsi que dans de nombreuses autres spécialités. Étant donné la grande variété des applications, les spécifications techniques varient elles aussi fortement.

GUNT propose une gamme de produits structurée pour la didactique sur les principes de base du génie frigorifique. Les appareils d'essai et de démonstration accompagnent et complètent l'enseignement de manière optimale, et aident à assimiler les thématiques complexes.

Principes de la production du froid

Introduction à la thématique de la production du froid avec des appareils d'essai qui présentent les principes de la production du froid:



ET 101 comme modèle simplifié d'un cycle frigorifique à compression



ET 120 comme modèle fonctionnel d'un système de refroidissement à effet Peltier



ET 122 pour la démonstration de la génération d'air froid avec un générateur de froid vortex

Installation frigorifique à compression

Étude des installations frigorifiques à compression, installations les plus fréquemment utilisées en génie frigorifique:



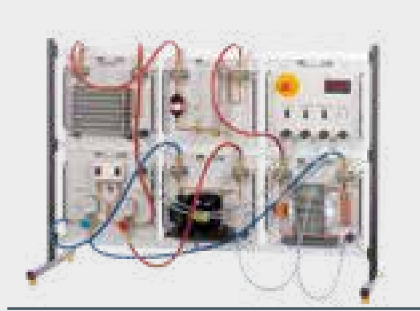
ET 411C représente un circuit frigorifique à compression typique



ET 350 démontrer les processus dans un circuit frigorifique

Systèmes d'exercice

Des systèmes d'exercices en lien étroit avec la pratique qui contribuent, grâce à leur concept didactique global, à l'apprentissage du travail concret sur les installations frigorifiques:



ET 900 pour une introduction du génie frigorifique avec des essais simples et clairs



ET 910 pour des essais de base et des des essais complémentaires



ET 915 avec les modèles de réfrigérateur et d'installation frigorifique pour expliquer le fonctionnement des systèmes de frigorifique

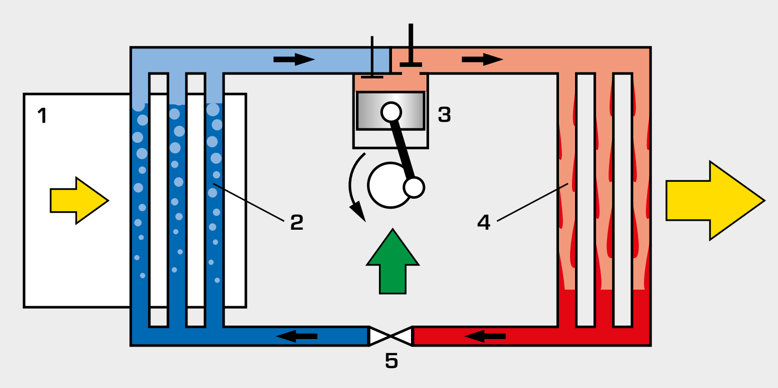
Connaissances de base

Principes de la production du froid

Le génie frigorifique décrit l'évacuation de chaleur d'une pièce à refroidir. Sous l'effet d'un différentiel de température, de l'énergie thermique est transférée du fluide chaud au fluide froid. Il existe différents principes relatifs à la réalisation technique du transport de chaleur, qui sont présentés ici.

Les installations frigorifiques à compression sont les systèmes frigorifiques les plus courants dans la pratique. Dans une installation frigorifique à compression, un agent réfrigérant traverse le circuit de l'agent réfrigérant, et y subit différentes transformations d'état. L'installation frigorifique à compression est basée sur l'effet physique selon lequel de l'énergie thermique est nécessaire pour le passage de l'état liquide à l'état gazeux. L'évaporateur **2** prélève de l'énergie thermique dans l'espace à refroidir **1**. En faisant varier la pression lors de l'évaporation et de la condensation, on peut ajuster le niveau de la température de manière à provoquer un transport de chaleur du côté froid vers le côté chaud. La condensation **4** de l'agent réfrigérant permet de libérer à nouveau l'énergie thermique.

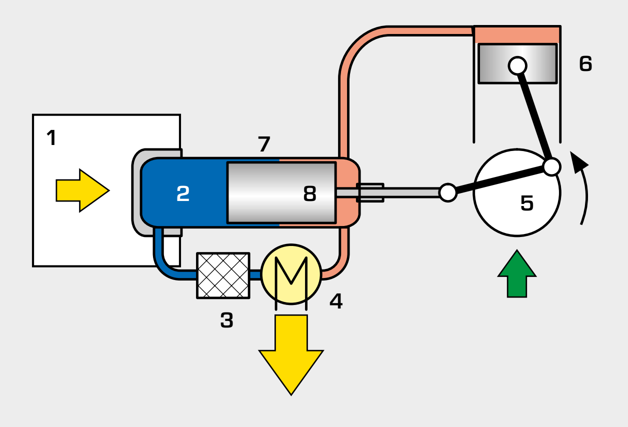
Pour augmenter la pression, il est possible d'utiliser, à la place du compresseur à piston **3** représenté, des compresseurs à vis, scroll, turbo ou à jet de vapeur.



1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé, **2** évaporateur, **3** compresseur, **4** condenseur, **5** soupape de détente;
agent réfrigérant HP gazeux, agent réfrigérant HP liquide, agent réfrigérant BP liquide, agent réfrigérant BP gazeux,
chaleur, travail mécanique

La **machine frigorifique de Stirling** est une solution de niche absolue dans la pratique. Elle fonctionne selon le même principe que le moteur Stirling, mais dans la direction opposée. La machine frigorifique de Stirling permet de réaliser des températures très basses, dans le cas par ex. de la liquéfaction des gaz ou lors du refroidissement des caméras infrarouges.

La machine frigorifique de Stirling est composée d'un cylindre de travail **6** et d'un cylindre de déplacement **7**. Dans le cylindre de travail, un gaz de travail est comprimé et détendu en alternance. Le gaz chaud comprimé libère sa chaleur dans l'échangeur de chaleur **4**. Durant la détente, le gaz de travail refroidit et absorbe de la chaleur de la pièce **1** à refroidir du côté froid **2** du cylindre de déplacement. Le piston de déplacement **8** et le piston de travail **6** sont déplacés en conséquence de manière déphasée par le mécanisme bielle-manivelle **5**.



1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé,
2 côté cylindre froid, **3** récupérateur, **4** échangeur de chaleur,
5 mécanisme bielle-manivelle, **6** cylindre de travail,
7 cylindre de déplacement, **8** piston de déplacement;
gaz d'échappement froid, gaz d'échappement chaud,
chaleur, travail mécanique

Contrairement à l'installation frigorifique à compression, **l'installation frigorifique à absorption** fonctionne avec deux fluides de travail, un agent réfrigérant et un solvant. Un apport d'énergie thermique permet de séparer les deux fluides de travail l'un de l'autre dans l'éjecteur **4**. La vapeur d'agent réfrigérant rejetée s'écoule dans le condenseur **3** où elle se condense. Puis l'agent réfrigérant s'évapore à basse pression dans l'évaporateur **2** en libérant de la chaleur. La vapeur d'agent réfrigérant formée s'écoule alors dans l'absorbeur **5**, où elle est absorbée par le solvant. Puis la solution composée d'agent réfrigérant et de solvant retourne dans l'éjecteur.

L'utilisation d'installations frigorifiques à absorption est judicieuse lorsque de l'énergie thermique, p.ex. de la chaleur perdue, est disponible. En effet, il est possible dans ce cas d'utiliser la chaleur perdue pour réaliser le refroidissement.

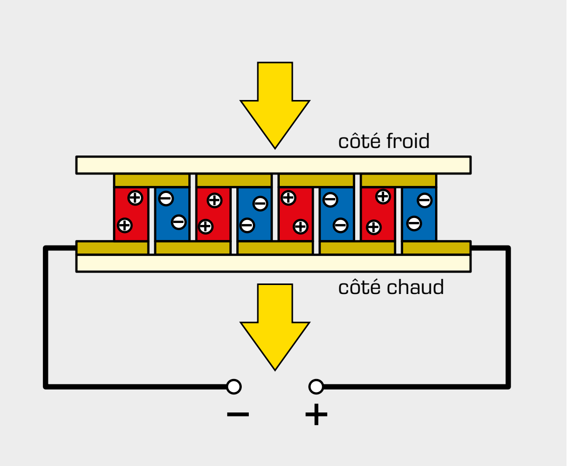
Exemple:
représentation de la combinaison de matières ammoniaque – eau

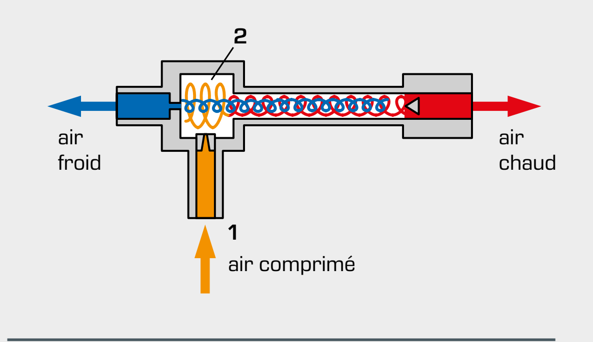
1 espace à refroidir ou refroidissement de procédé, **2** évaporateur,
3 condenseur, **4** éjecteur, **5** absorbeur;
vapeur d'ammoniac, ammoniaque liquide,
solution pauvre en ammoniaque, solution riche en ammoniaque,
hydrogène, hydrogène et vapeur d'ammoniac, chaleur

Les **installations frigorifiques thermoélectriques** sont basées sur l'effet Peltier. Un élément Peltier génère un différentiel de température au moyen d'un courant électrique; il peut être utilisé soit pour chauffer, soit pour refroidir, en fonction de la direction du courant.

Le courant passe à travers un élément thermoélectrique. Lors de ce passage, un contact électrique chauffe, tandis que le second refroidit. Afin d'augmenter la puissance, plusieurs éléments thermoélectriques sont montés en série; ils sont disposés de manière à ce que les contacts de refroidissement et de chauffage soient chacun reliés à une plaque de couverture. Lorsque le courant circule, de la chaleur est prélevée sur l'une des plaques et transférée à l'autre. La plaque froide correspond à la partie utile de l'installation frigorifique thermoélectrique.

Les éléments Peltier peuvent générer des températures très basses. Cependant, lorsque le différentiel de température augmente, le rendement baisse. Les éléments Peltier sont faciles à réguler, n'ont pas de composants mobiles et sont exempts de combustibles toxiques.





1 orifice d'entrée, **2** chambre de tourbillon

Le **générateur de froid à Vortex** fonctionne selon un principe bien particulier. De l'air comprimé est amené dans l'orifice d'entrée **1**. L'air comprimé est introduit tangentiellement dans la chambre de tourbillon **2** où il est mis en rotation. Un écoulement d'air froid se forme au centre de ce tourbillon, tandis que la couche externe du tourbillon se chauffe. L'écoulement d'air froid est dévié du milieu du tourbillon et utilisé pour le refroidissement.

L'avantage du générateur de froid à Vortex réside dans sa conception particulièrement simple, dépourvue de composants mobiles, de combustibles toxiques ou d'alimentation électrique. Il a néanmoins l'inconvénient d'offrir un faible rendement.

ET 101
Circuit frigorifique à compression simple



Description

- **introduction au génie frigorifique**
- **modèle d'une installation frigorifique à compression/pompe à chaleur**
- **refroidissement et réchauffement des échangeurs de chaleur directement tangible**

La fonction d'une installation frigorifique est le refroidissement de matières et de produits afin d'éviter par exemple le pourrissement des aliments. Le refroidissement peut être décrit comme un procédé pour lequel de la chaleur est retirée de l'environnement.

Un type d'installation frigorifique très répandu est l'installation frigorifique à compression. Dans cette installation, un agent réfrigérant circule à travers quatre éléments principaux: compresseur, condenseur, élément d'expansion et évaporateur. Le principe utilisé dans une installation frigorifique est celui selon lequel un agent réfrigérant a une température d'ébullition plus basse dans le cas d'une pression plus basse. C'est pour cette raison que l'évaporation se produit du côté basse pression. Dans le cas de l'évaporation de l'agent réfrigérant, de la chaleur est retirée de l'environnement, celle-ci est refroidie.

La condensation se produit du côté haute pression après l'évaporateur. C'est de cette manière que la chaleur est émise à l'environnement. Lorsque ce n'est pas l'effet de refroidissement mais la chaleur émise qui est utilisée, on parle alors de pompe à chaleur.

La structure du ET 101 est celle d'une installation frigorifique à compression simple. L'évaporateur et le condenseur sont réalisés sous forme de serpentin, qui pénètrent chacun dans un réservoir rempli d'eau. L'eau simule l'environnement. Une soupape de détente thermostatique fait office d'élément d'expansion. Deux manomètres affichent les deux pressions du système des côtés haute et basse pression. La température d'évaporation de l'agent réfrigérant est affichée sur une échelle supplémentaire au niveau du manomètre. Deux thermomètres mesurent la température de l'eau dans les réservoirs. Avec cela, on peut calculer la quantité de chaleur qui a été retirée à l'environnement (évaporateur, eau froide) et rendue (condenseur, eau chaude). Un voyant affiche l'état d'agrégation de l'agent réfrigérant avant la soupape de détente.

Contenu didactique/essais

- bases d'un circuit frigorifique à compression
- composants principaux d'une installation frigorifique
  - compresseur, évaporateur, condenseur, élément d'expansion
- rapport entre pression et point d'ébullition d'un liquide
- fonction d'une installation frigorifique/pompe à chaleur
- développer une compréhension de base du cycle thermodynamique
- bilan énergétique simple

ET 101
Circuit frigorifique à compression simple



1 commutateur principal, 2 pressostat, 3 condenseur avec réservoir d'eau, 4 compresseur, 5 réservoir, 6 thermomètre, 7 évaporateur, 8 voyant (agent réfrigérant), 9 manomètre, 10 soupape de détente

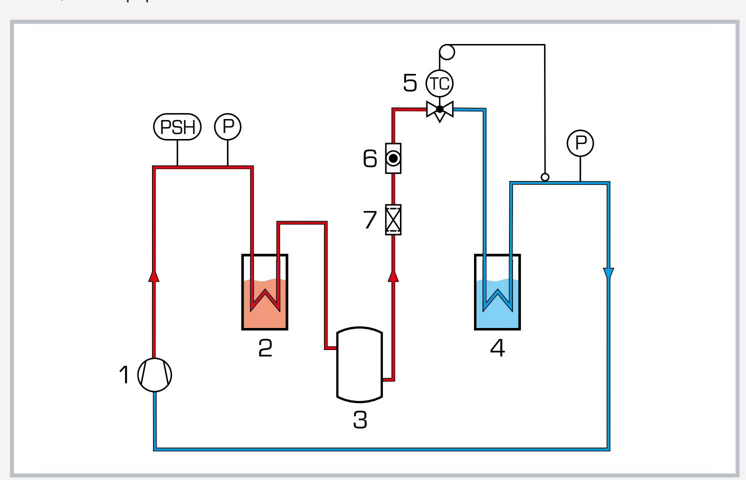
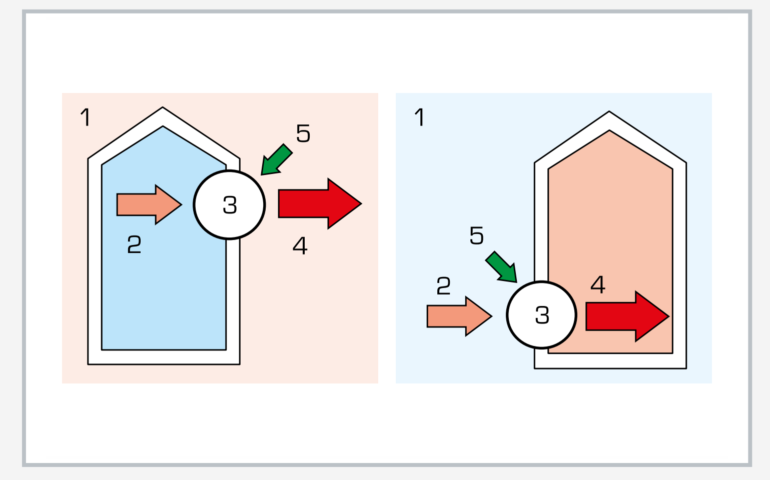


Schéma de processus du circuit frigorifique: 1 compresseur, 2 condenseur, 3 réservoir, 4 évaporateur, 5 soupape de détente, 6 voyant, 7 filtre/secheur, PSH pressostat, P pression



Refroidir (à gauche) et chauffer (à droite) avec une pompe à chaleur: 1 environnement, 2 chaleur absorbée, 3 pompe à chaleur, 4 chaleur émise, 5 énergie électrique

Spécification

[1] bases du génie frigorifique sur un modèle simple
[2] installation frigorifique à compression typique avec compresseur à piston, soupape de détente thermostatique, évaporateur et condenseur (chacun sous forme de serpentin)
[3] 2 manomètres avec échelle de température pour l'agent réfrigérant affichant les valeurs des côtés haute et basse pression
[4] 2 réservoirs remplis d'eau avec thermomètre pour la démonstration des effets de refroidissement et de réchauffement
[5] pressostat de protection du compresseur
[6] voyant pour l'observation de l'état d'agrégation de l'agent réfrigérant
[7] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance absorbée: 104W à 5/40°C
- puissance frigorifique: 278W à 5/40°C
- cylindrée: 2,72cm^3

Réservoir: 4x 1700mL

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 500g
- équivalent CO_2: 0,3t

Plages de mesure
- pression: -1...12,5bar, -1...25bar
- température: -50...40°C, -40...80°C, 2x -10...50°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 750x360x690mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
4 réservoirs d'eau
2 thermomètres
2 cuillères
1 documentation didactique



ET 120
Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier



Description

- **démonstration de l'effet thermo-électrique**
- **réalisation de bilans énergétiques**

L'appareil d'essai ET 120 montre le refroidissement à l'aide de l'effet Peltier. Les éléments Peltier utilisent l'effet thermoélectrique de certains semi-conducteurs. L'effet thermoélectrique est l'inverse de l'effet de puissance thermoélectrique connu utilisé lors de la mesure de température par des thermocouples. Si un élément Peltier est traversé par un courant, alors une extrémité du semi-conducteur est chaude, et l'autre froide. C'est seulement par le biais d'un montage commun approprié de matériaux semi-conducteurs avec dopage de type p et de type n, que la puissance frigorifique peut être suffisamment augmentée pour devenir utilisable.

Les avantages de la production du froid par éléments Peltier sont les suivants: les éléments Peltier ne s'usent pas et ne nécessitent pas de maintenance, sont silencieux, fonctionnent indépendamment de l'emplacement, et bénéficient d'une puissance frigorifique facilement réglable par la tension d'alimentation.

En outre, aucun agent réfrigérant n'est nécessaire. Les éléments Peltier sont utilisés pour de petites puissances en thermographie, comme refroidisseurs de boissons ou en génie médical. Leur inconvénient réside cependant dans leur faible rendement.

La structure de l'essai est disposée de manière visible sur la face avant de l'appareil d'essai. La partie centrale du système est un élément Peltier. La puissance thermique et frigorifique de l'élément Peltier est évacuée par des courants d'eau. La mesure des débits respectifs et des températures d'entrée et de sortie permet une détermination des courants d'eau. La puissance électrique apportée est déterminée par une mesure de tension et d'intensité.

L'appareil d'essai peut rester en fonctionnement pendant un temps limité sans connexion au réseau d'eau, en raison du circuit d'eau fermé.

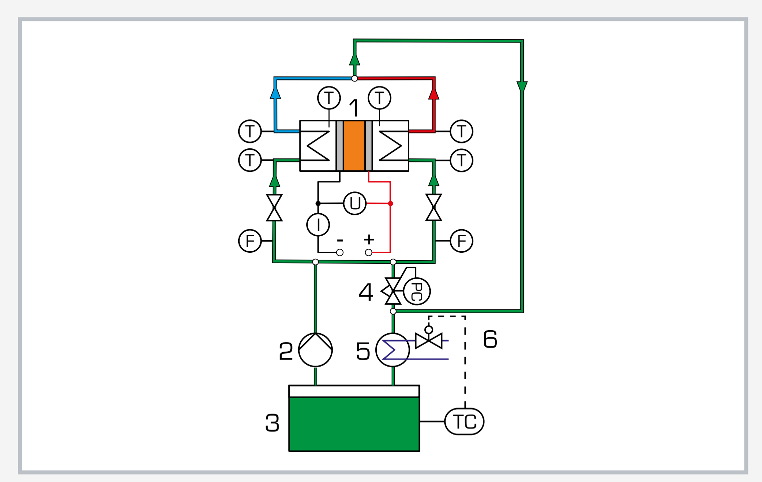
Contenu didactique/essais

- fonction et fonctionnement d'un élément Peltier
  - pour le refroidissement
  - comme pompe à chaleur
- détermination de la puissance frigorifique et thermique
- enregistrement des courbes caractéristiques comme la puissance frigorifique par différence de température
- bilan énergétique
- détermination du coefficient de performance

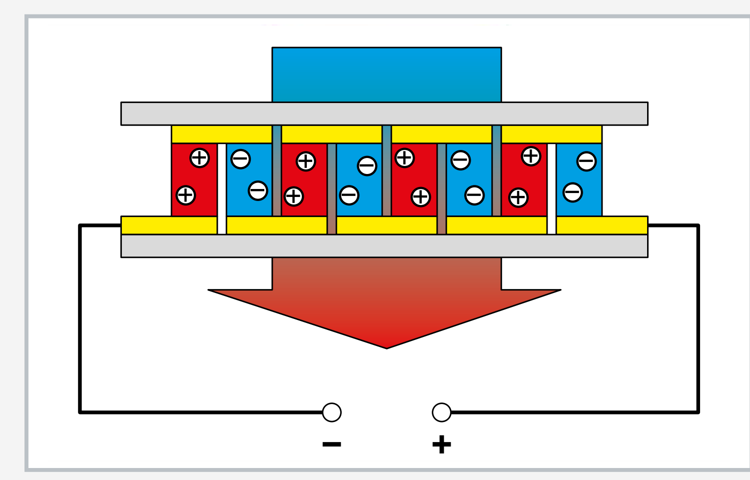
ET 120
Refroidissement à l'aide de l'effet Peltier



1 débitmètre d'eau froide, 2 affichages de température du côté froid, 3 régulateur de température du réservoir d'eau, 4 affichages de tension et courant, 5 ajustage de la puissance électrique, 6 élément Peltier avec des échangeurs de chaleur, 7 débitmètre d'eau chaude, 8 affichages de température du côté chaud, 9 couvercle de réservoir d'eau



1 élément Peltier, 2 pompe, 3 réservoir, 4 soupape de décharge, 5 échangeur de chaleur, 6 électrovanne; T température, F débit, U, I mesure de la tension et de l'intensité de l'alimentation; bleu: eau côté froid, rouge: eau côté chaud, vert: eau mixte



Principe de fonctionnement: les éléments des semi-conducteurs montés électriquement en série transportent la chaleur du côté froid (bleu) au côté chaud (rouge)

Spécification

[1] modèle de description d'un système frigorifique de Peltier
[2] appareil d'essai avec structure visible de tous les composants sur la face avant
[3] élément de Peltier refroidi par eau
[4] circuit d'eau commun pour le chauffage et le refroidissement avec réservoir, pompe et débitmètres
[5] puissance électrique ajustable de manière continue par potentiomètre
[6] affichages numériques de température, intensité et tension
[7] mesure de débit des courants d'eau par rotamètre

Caractéristiques techniques

Élément Peltier
- puissance frigorifique max.: 191,4W
- courant max.: 22,6A
- tension max.: 16,9V
- différence de température max.: 77,8K
- température du côté chaud: 50°C

Pompe
- puissance absorbée: 120W
- débit de refoulement max.: 1000L/h
- hauteur de refoulement max.: 30m

Réservoir d'eau
- contenu: 7L

Plages de mesure
- courant: 0...20A
- tension: 0...200V
- température: 2x -30...80°C, 4x 0...100°C
- débit: 2...27L/h, 15...105L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x640x600mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau
drain

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique



ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



Contenu didactique/essais

- comprendre l'installation frigorifique à compression selon le procédé d'éjection de vapeur
- cycle de Clausius-Rankine fonctionnant à droite et à gauche
- bilans énergétiques
- détermination du coefficient de performance du circuit frigorifique
- cycle sur le diagramme log p,h
- comportement en service sous charge
- installation frigorifique à éjection de vapeur héliothermique

Description

- **installation frigorifique avec compression à jet de vapeur**
- **production du froid avec chaleur**
- **condenseur et évaporateur transparents**
- **avec ET 352.01 et HL 313: exploitation de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement pour un compresseur à jet de vapeur**

Contrairement aux installations frigorifiques à compression courantes, les machines frigorifiques à éjection de vapeur ne possèdent pas de compresseur mécanique, mais un compresseur à jet de vapeur. Pour cette raison, il est possible d'utiliser différentes sources de chaleur pour la production du froid. De telles sources peuvent être, par exemple, l'énergie solaire ou la chaleur perdue provenant des processus.

L'installation comprend deux circuits d'agent réfrigérant: un circuit sert à la production du froid (cycle frigorifique), l'autre circuit sert à la production de vapeur d'entraînement (cycle de vapeur).

Le compresseur à jet de vapeur comprime la vapeur de l'agent réfrigérant et la transporte dans le condenseur. Un réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau fait office de condenseur.

Dans le cycle frigorifique, une partie de l'agent réfrigérant condensé circule dans l'évaporateur transparent, qui est raccordé au côté aspiration du compresseur à jet de vapeur. L'évaporateur est un évaporateur immergé, dans lequel une vanne à flotteur maintient le niveau de remplissage constant. L'agent réfrigérant absorbe la chaleur ambiante ou la chaleur du dispositif de chauffage et l'évapore. La vapeur de l'agent réfrigérant est aspirée par le compresseur à jet de vapeur puis à nouveau compressée.

Une pompe transporte l'autre partie du condensat dans le générateur de vapeur au cours du cycle de vapeur. Un réservoir électrique doté d'une chemise d'eau évapore l'agent réfrigérant. L'agent réfrigérant produit entraîne le compresseur à jet de vapeur. Comme alternative au chauffage électrique, de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement peut être utilisée avec le ET 352.01 et le capteur héliothermique HL 313.

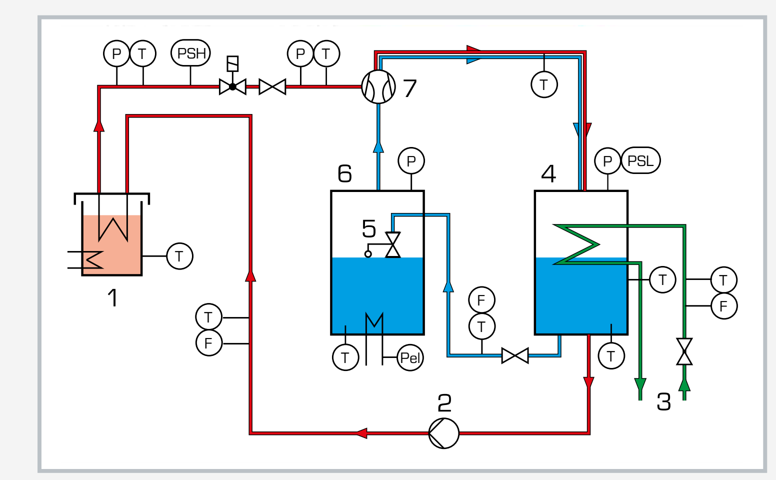
Les valeurs de mesure pertinentes sont enregistrées par des capteurs, affichées et peuvent être traitées sur un PC. La puissance du dispositif de chauffage est ajustable au niveau de l'évaporateur. Le débit d'eau de refroidissement au niveau du condenseur est ajusté par une soupape.

ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



1 manomètre, 2 pressostat, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 générateur de vapeur, 5 évaporateur, 6 pompe, 7 raccords d'eau de refroidissement, 8 débitmètre, 9 condenseur, 10 compresseur à jet de vapeur



1 générateur de vapeur, 2 pompe, 3 raccords d'eau de refroidissement, 4 condenseur, 5 vanne à flotteur, 6 évaporateur, 7 compresseur à jet de vapeur; T température, P pression, PSL, PSH pressostat, F débit, P_{el} puissance; rouge: cycle de vapeur, bleu: cycle frigorifique, vert: eau de refroidissement

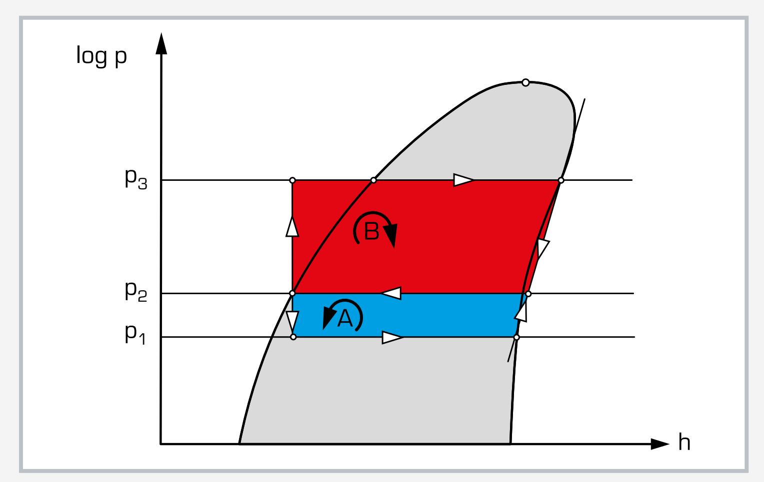


Diagramme log p,h: A cycle frigorifique, B cycle de vapeur, p_1 pression dans l'évaporateur, p_2 pression dans le condenseur, p_3 pression dans le générateur de vapeur

Spécification

[1] étude d'un compresseur à jet de vapeur
[2] circuit frigorifique avec condenseur, évaporateur et compresseur à jet de vapeur pour agent réfrigérant
[3] circuit de vapeur avec pompe et générateur de vapeur pour le fonctionnement du compresseur à jet de vapeur
[4] réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau comme condenseur
[5] réservoir transparent avec dispositif de chauffage ajustable comme évaporateur
[6] évaporateur immergé avec vanne à flotteur comme élément d'expansion
[7] générateur de vapeur doté d'une chemise d'eau chauffée (électriquement ou héliothermiquement par ET 352.01, HL 313)
[8] agent réfrigérant R1233zd, GWP: 1
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur à jet de vapeur
- d_{min} tuyère convergente-divergente Laval: env. 1,7mm
- d_{min} tuyère de mélange: env. 7mm

Condenseur
- réservoir: env. 3,5L
- surface de serpentin: env. 0,17m^2

Évaporateur
- réservoir: env. 3,5L
- puissance du dispositif de chauffage: 4x 125W

Générateur de vapeur
- réservoir agent réfrigérant: env. 0,75L
- chemise d'eau: env. 9L
- puissance du dispositif de chauffage: 2kW

Pompe
- débit de refoulement max.: env. 1,7L/min
- hauteur de refoulement max.: env. 70mWS

Agent réfrigérant
- R1233zd
- GWP: 1
- volume de remplissage: 5kg
- équivalent CO_2: 0t

Plages de mesure
- température: 12x -20…100°C
- pression: 2x 0…10bar; 2x -1…9bar
- débit: 3x 0…1,5L/min
- puissance: 1x 0…750W, 1x 0…3kW

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1460x790x1890mm
Poids: env. 225kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai + 1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 122
Générateur de froid à vortex



Description

■ **démonstration du principe du vortex**
■ **génération de froid et de chaleur à l'aide d'air comprimé**

L'appareil d'essai ET 122 produit de l'air froid et chaud à l'aide d'air comprimé normal. L'élément central de l'appareil d'essai est le générateur de froid à vortex que l'on désigne aussi par tube à vortex (tube de Ranque-Hilsch). Dans le tube à vortex, de l'air comprimé tangentiel entrant est mis en rotation très rapide. Suite à cela, des écoulements d'air froid et chaud se produisent dans le tube à vortex, qui quittent le tube à vortex aux extrémités opposées.

Un générateur de froid à vortex ne possède pas de pièces mobiles, ne nécessite pas de maintenance, et est immédiatement fonctionnel.

Le générateur de froid à vortex trouve ses applications dans le refroidissement convectif d'outils à grande vitesse, pour la climatisation de tenues de protection et le refroidissement du coffret de commande. Celui-ci est particulièrement adapté à l'utilisation dans des zones menacées d'explosion. L'avantage ici est que le générateur de froid à vortex ne nécessite pas d'alimentation électrique.

La pression d'entrée d'air comprimé est mesurée par un manomètre. La quantité d'air comprimé et la quantité de sortie de l'écoulement d'air chaud sont mesurées chacune par un rotamètre. La température d'entrée de l'air comprimé et la température de sortie de l'écoulement d'air chaud et froid sont affichées numériquement.

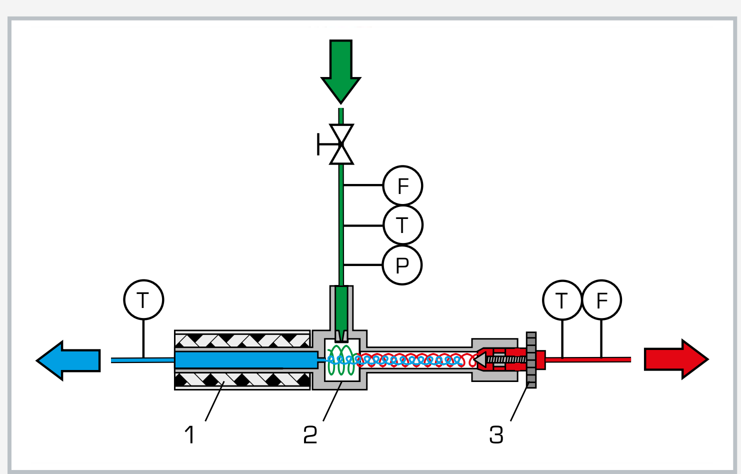
Contenu didactique/essais

■ fonction et fonctionnement du générateur de froid à vortex
■ répartition de l'écoulement d'air en fonction de la température de l'écoulement d'air froid
■ influence de la pression d'entrée sur la puissance thermique et frigorifique

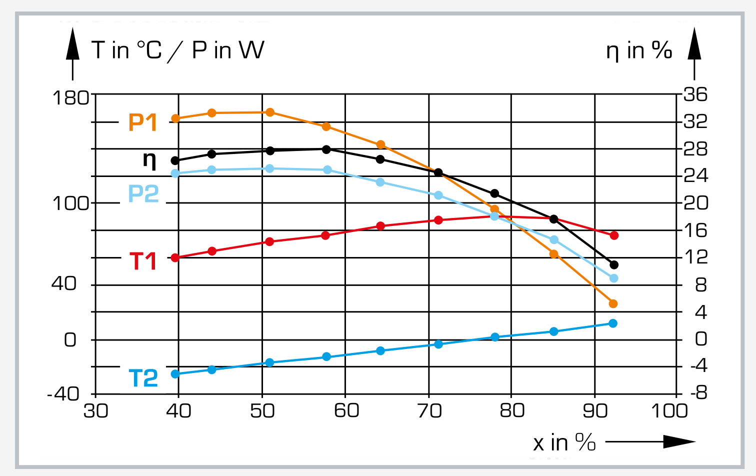
ET 122
Générateur de froid à vortex



1 manomètre, 2 tube à vortex, 3 sortie d'air froid, 4 raccord d'air comprimé, 5 schéma de processus, 6 débitmètre, 7 affichages de température, 8 sortie d'air chaud



1 silencieux, 2 tube à vortex, 3 vanne d'ajustage de la température d'air froid; T température, P pression, F débit;
bleu: air froid, rouge: air chaud, vert: air comprimé



Profils de température, puissance et rendement dépendent de la part d'air froid;
rouge T1: air chaud, bleu T2: air froid, orange P1: puissance thermique, bleu clair P2: puissance frigorifique, noir: rendement d'air froid, x part d'air froid

Spécification

[1] modèle de description de production d'air froid au moyen du générateur de froid à vortex (tube à vortex), à l'aide d'air comprimé
[2] appareil d'essai avec structure visible de tous les composants sur la face avant
[3] structure simple, aucune pièce mobile, sans usure
[4] mesure de la pression d'entrée de l'air comprimé avec manomètre
[5] mesure de débit d'air comprimé et d'air chaud de sortie par rotamètre
[6] affichages numériques de la température d'entrée et de sortie de l'air froid et chaud

Caractéristiques techniques

Générateur de froid à vortex
■ pression d'entrée: 5,5bar
■ consommation d'air: max. 420L/min
■ puissance frigorifique: max. 267W (230kcal/h)
■ température minimale: -40°C
■ température maximale: 110°C

Plages de mesure
■ température: 3x -50...150°C
■ pression: 0...10bar
■ débit: 2x 2...25m^3/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x600x710mm
Poids: env. 50kg

Nécessaire pour le fonctionnement

air comprimé: min. 6bar, 25m^3/h

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



ET 480
Installation frigorifique à absorption



Description

- **modèle d'installation frigorifique à absorption**
- **fonctionnement du bouilleur au choix avec du gaz ou électriquement**
- **chauffage ajustable de l'évaporateur comme charge de refroidissement**

Les installations frigorifiques utilisent le fait que les agents réfrigérants s'évaporent à basse pression. Dans les installations frigorifiques à absorption, l'absorption de l'ammoniac dans l'eau produit cette basse pression. Le processus d'absorption est initié par de l'énergie thermique, qui peut provenir de la chaleur perdue industrielle ou de capteurs solaires pour le fonctionnement de ces installations.

Le principe de base d'une installation frigorifique à absorption est montré par exemple sur l'appareil d'essai ET 480, en prenant l'exemple d'une solution ammoniac-eau, dans laquelle l'ammoniac fait office d'agent réfrigérant. L'ammoniac liquide s'évapore dans l'évaporateur et retire de la chaleur de l'environnement. La vapeur d'ammoniac est absorbée par l'eau dans l'absorbeur pour maintenir une pression d'évaporation basse. L'étape suivante consiste à retirer en permanence de l'ammoniac de la solution riche en ammoniac afin que le processus d'absorption ne s'arrête pas. La solution riche en ammoniac est alors chauffée dans un éjecteur jusqu'à ce que l'ammoniac s'évapore à nouveau. En dernier lieu, la vapeur d'ammoniac est refroidie dans le condenseur jusqu'à son niveau de sortie, condensée et dirigée vers l'évaporateur. La solution pauvre en ammoniac coule à nouveau vers l'absorbeur. Afin de maintenir la différence de pression dans l'installation, de l'hydrogène est utilisé comme gaz auxiliare.

Dans les installations techniques de procédé, la chaleur perdue produite peut être récupérée et utilisée pour la production du froid. Dans le cas de petites installations comme des réfrigérateurs de camping ou des minibars à l'hôtel, la chaleur nécessaire est produite électriquement ou au moyen de brûleurs à gaz. Un avantage supplémentaire des installations frigorifiques à absorption réside dans leur fonctionnement silencieux.

L'ET 480 montre le mode opératoire d'une installation frigorifique à absorption avec les composants principaux: évaporateur, absorbeur, bouilleur comme éjecteur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur. Le bouilleur peut être chauffé au choix avec du gaz ou électriquement. Un chauffage électrique supplémentaire au niveau de l'évaporateur produit une charge de refroidissement. Les températures dans le circuit frigorifique, ainsi que les puissances de chauffe du bouilleur et de l'évaporateur, sont prises en compte et affichées numériquement.

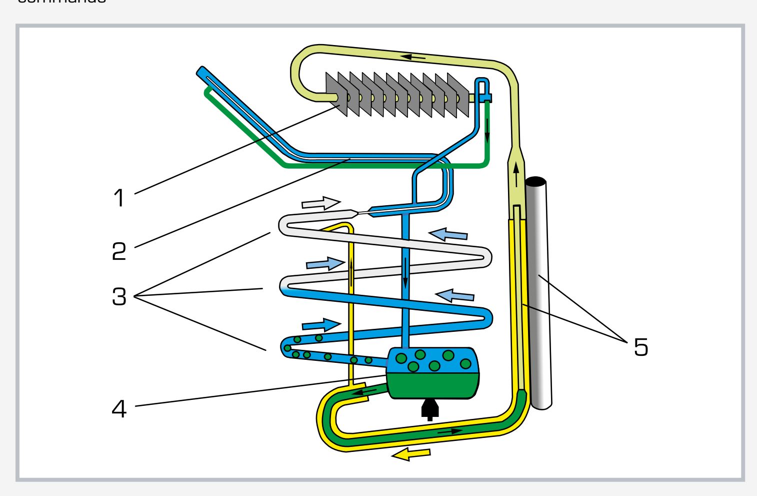
Contenu didactique/essais

- démonstration du principe de base d'une installation frigorifique à absorption
- installation frigorifique à absorption et ses composants principaux
- comportement en service sous charge

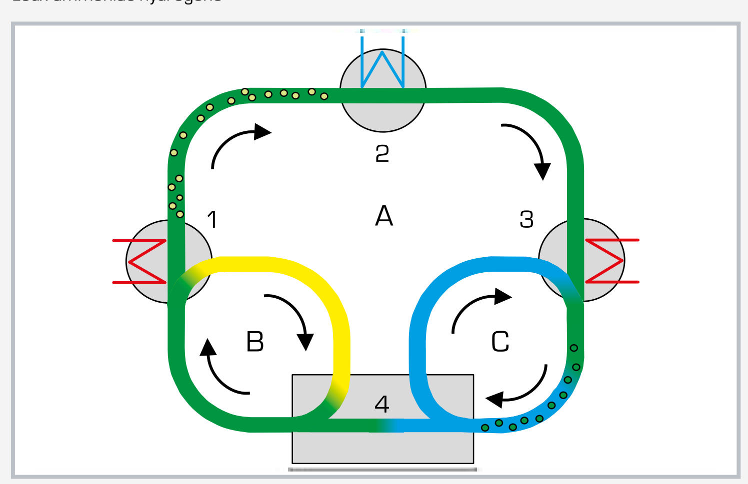
ET 480
Installation frigorifique à absorption



1 condenseur, 2 évaporateur avec chauffage, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 brûleur à gaz, 6 soupape de réduction de pression pour le fonctionnement avec propane, 7 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur pour l'éjection de l'ammoniac, 8 éléments d'affichage et de commande



1 condenseur, 2 évaporateur, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur;
vert: solution riche en ammoniac, jaune: solution pauvre en ammoniac, bleu: mélange gazeux ammoniac-hydrogène



1 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, 2 condenseur, 3 évaporateur, 4 absorbeur;
A: circuit d'ammoniac, B: circuit d'eau, C: circuit d'hydrogène

Spécification

[1] fonction d'une installation frigorifique à absorption
[2] composants principaux de l'installation: évaporateur, absorbeur, bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur
[3] solution ammoniac-eau comme fluide de travail, hydrogène comme gaz auxiliaire
[4] bouilleur pour l'éjection de l'ammoniac
[5] pompe pour bulles de vapeur pour le déplacement dans le circuit
[6] chauffage électrique ajustable de l'évaporateur faisant office de charge de refroidissement
[7] bouilleur pouvant être chauffé au choix avec un dispositif de chauffage électrique ou avec un brûleur à gaz
[8] allumeur piézoélectrique pour le fonctionnement au gaz
[9] affichages numériques de température et de puissance

Caractéristiques techniques

Fluide de travail: solution ammoniac-eau
Gaz auxiliaire: hydrogène
Dispositif de chauffage électrique: 125W
Brûleur à gaz, ajustable: propane
Évaporateur chauffage, ajustable: 50W

Plages de mesure
- température: 4x -80...180°C
- puissance: 0...150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 750x450x750mm
Poids: env. 47kg

Nécessaire pour le fonctionnement

gaz propane: 30...50mbar

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 flexible
1 réducteur de pression
1 documentation didactique



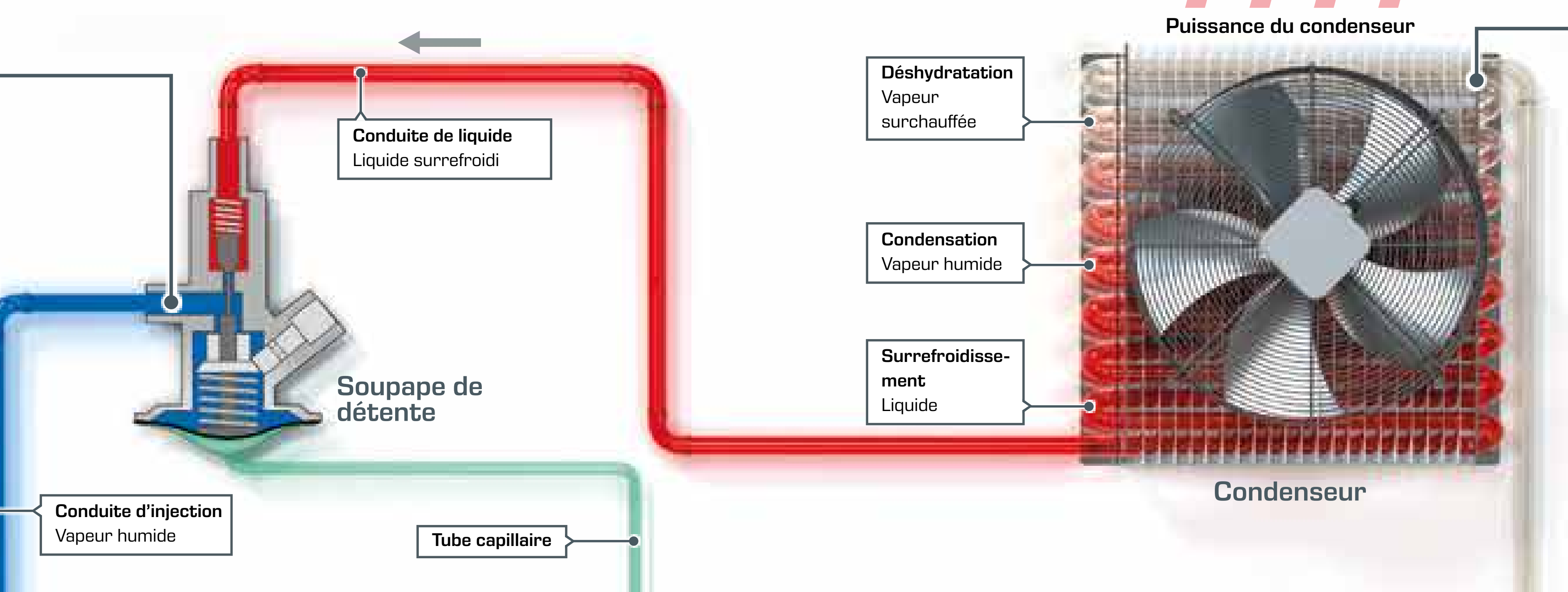
Connaissances de base

Éléments principaux d'une installation frigorifique à compression

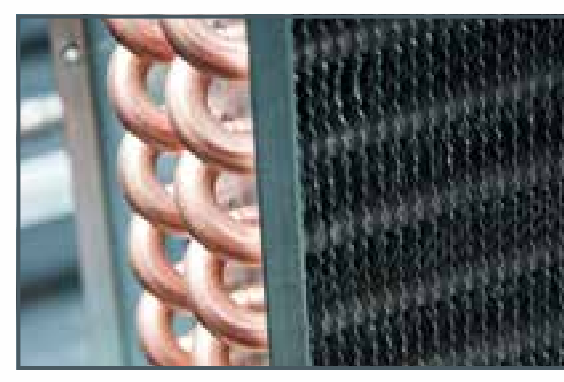


La **soupape de détente** se trouve entre le condenseur et l'évaporateur. Elle sert à détendre l'agent réfrigérant sous pression. La détente à basse pression est nécessaire pour que l'agent réfrigérant puisse s'évaporer à nouveau à basse température. Une partie de l'agent réfrigérant s'évapore déjà sous l'effet de la chute de pression au niveau de la soupape de détente, ce qui provoque une baisse de la température. En outre, il est possible d'obtenir la surchauffe de l'agent réfrigérant dans l'évaporateur en utilisant la soupape de détente. La surchauffe garantit l'évaporation intégrale de l'agent réfrigérant.

Dans une installation frigorifique à compression, de la chaleur est transportée d'un endroit à un autre sous l'effet d'un différentiel de température. Le principe du transport de chaleur dans une installation frigorifique à compression peut être décrit en présentant la fonction de base des quatre composants principaux.



Dans le **condenseur**, la chaleur de l'agent réfrigérant est à nouveau libérée et transférée à l'environnement. La libération de chaleur a pour effet de condenser la vapeur d'agent réfrigérant. La vapeur d'agent réfrigérant doit avoir une température supérieure à celle de l'environnement. Cette température de condensation requise est directement proportionnelle à la pression générée par le compresseur. La pression reste à un niveau constant élevé durant la condensation.



Dans **l'évaporateur**, de la chaleur est extraite de l'environnement, ou d'un fluide, puis transférée à l'agent réfrigérant. Ce qui entraîne l'évaporation de l'agent réfrigérant. La partie utile de l'installation frigorifique se trouve ici. La température de l'agent réfrigérant reste constante pendant l'évaporation, malgré l'absorption de chaleur. L'énergie absorbée est utilisée pour le changement de phase. Pour que l'évaporation ait lieu, la température de l'agent réfrigérant liquide doit être inférieure à celle du fluide à refroidir. Cette température d'évaporation requise est directement proportionnelle à la pression qui est obtenue de manière ciblée par l'effet d'aspiration du compresseur et le rétrécissement de la soupape de détente.

Le **compresseur** est l'unité motrice d'un système frigorifique à compression. Il extrait le réfrigérant gazeux de l'évaporateur, augmente sa pression et le transporte dans le condenseur. Le compresseur doit augmenter la pression du réfrigérant gazeux pour qu'il puisse se condenser dans le condenseur, libérant de la chaleur.



ET 411C
Installation frigorifique à compression



Description

- **installation frigorifique à compression avec évaporateur et condenseur transparents**
- **comparer différents éléments d'expansion**
- **influence du sous- et sur-remplissage de l'installation avec l'agent réfrigérant**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

La structure du ET 411C représente un circuit frigorifique typique, se composant d'un compresseur hermétique, d'un condenseur, d'un évaporateur et d'un élément d'expansion. L'évaporateur et le condenseur se présentent sous la forme d'un échangeur de chaleur à double tube. Les tubes sont partiellement transparents afin de mieux visualiser le processus de transition entre les phases lors de l'évaporation et de la condensation. Trois longs tubes capillaires différents et une soupape de détente thermostatique peuvent être comparés comme éléments d'expansion.

Le banc d'essai est équipé d'un réservoir pour agent réfrigérant. L'agent réfrigérant peut être ajouté ou retiré du circuit frigorifique à l'aide du réservoir. Les effets provoqués par un sur-ou sous-remplissage peuvent ainsi être étudiés.

La température et la pression dans le circuit frigorifique ainsi que la puissance électrique absorbée par le compresseur sont pris en compte par un capteur. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées.

Les modifications des paramètres du circuit frigorifique peuvent être observées sur le diagramme log p,h du logiciel.

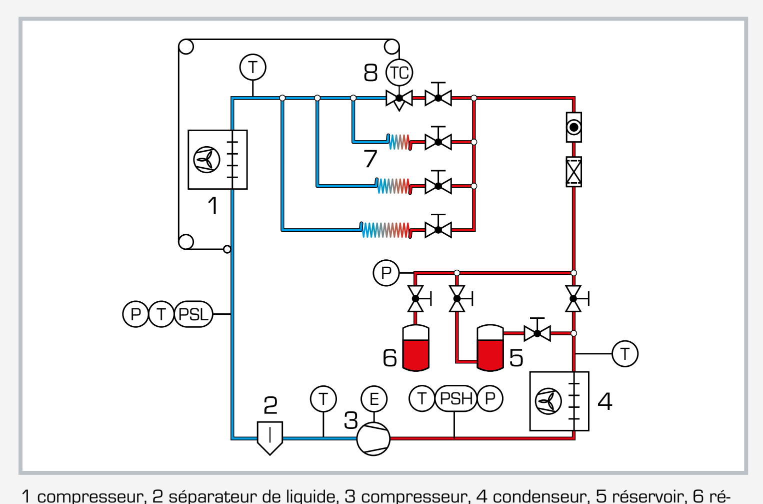
Contenu didactique/essais

- fonction et comportement en service des composants du circuit frigorifique
- fonctionnement avec la soupape de détente ou les tubes capillaires de différentes longueurs
- sous-remplissage ou sur-remplissage d'agent réfrigérant
- calculer le cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- à partir du diagramme log p,h et en comparaison avec les valeurs mesurées
  - calculer la puissance frigorifique
  - calculer le coefficient de performance
  - calculer le rendement du compresseur

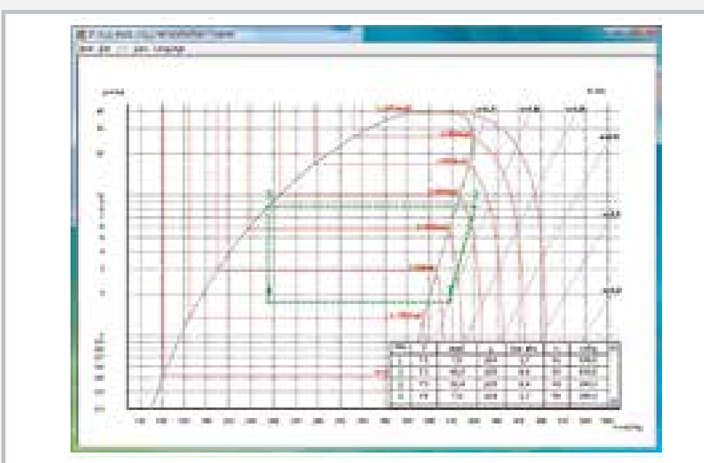
ET 411C
Installation frigorifique à compression



1 évaporateur, 2 éléments d'affichage et de commande, 3 séparateur de liquide, 4 réservoir d'alimentation, 5 compresseur, 6 réservoir, 7 pressostat du compresseur, 8 manomètre, 9 condenseur, 10 filtre/sécheur, 11 soupape de détente, 12 tube capillaire



1 compresseur, 2 séparateur de liquide, 3 compresseur, 4 condenseur, 5 réservoir, 6 réservoir d'alimentation, 7 tube capillaire, 8 soupape de détente; T température, P pression, E puissance absorbée, PSH, PSL pressostat



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'une installation frigorifique avec différents éléments d'expansion
[2] circuit frigorifique, se composant d'un compresseur hermétique, d'un condenseur, d'un évaporateur et d'un élément d'expansion
[3] échangeurs de chaleur tube à ailettes transparents comme condenseur et évaporateur permettant d'observer les transitions entre les phases de l'agent réfrigérant
[4] soupape de détente et tubes capillaires de différentes longueurs comme éléments d'expansion
[5] réservoir pour sous- et sur-remplissage de l'installation avec l'agent réfrigérant
[6] capteur mesurant la pression et la température
[7] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[8] compresseur pourvu de deux pressostats
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance absorbée: 288W à 7,2°/54,4°C
- puissance frigorifique: 463W à 7,2/54,4°C

Condenseur et évaporateur avec ventilateur
- débit volumétrique d'air max., condenseur: 300m³/h
- débit volumétrique d'air max., évaporateur: 180m³/h

Tubes capillaires: 1,5m, 3m, 6m
Réservoir pour agent réfrigérant: 1,3L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 2,5kg
- équivalent CO_2: 1,6t

Plages de mesure
- pression: -1...9bar / -1...24bar
- température: 4x -40...150°C, 1x -100...100°C
- débit: 2...19kg/h (agent réfrigérant)
- puissance absorbée: 0...1000W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1740x800x1780mm
Poids: env. 190kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 350
Changements d'état dans un circuit frigorifique



Description

- **le circuit frigorifique est clairement mis en évidence**
- **les composants transparents permettent d'avoir un aperçu des changements d'état**
- **évaluations énergétiques du cycle frigorifique**
- **valeur pour le Global Warming Potential GWP=1**

Dans une installation frigorifique à compression, un agent réfrigérant circule dans le circuit frigorifique et connaît différents changements d'état. On utilise ici l'état physique qui requiert de l'énergie qui est retirée de l'environnement (enthalpie d'évaporation) lors de la transition entre les états liquide et gazeux de l'agent réfrigérant.

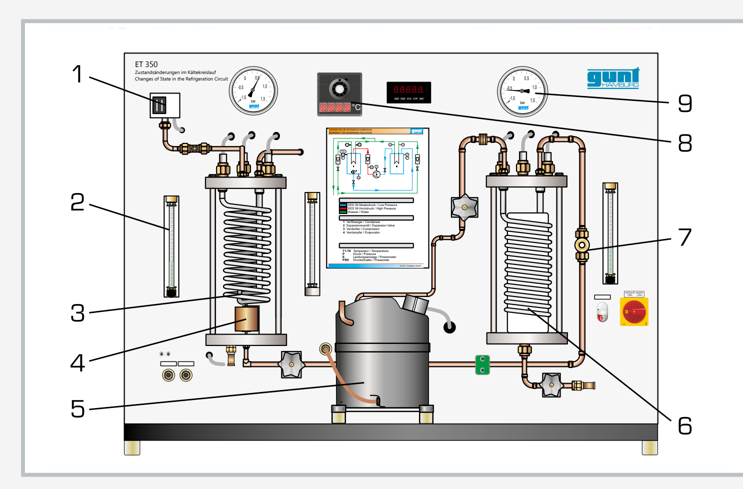
L'appareil d'essai ET 350 représente un circuit frigorifique typique, se composant d'un compresseur à piston hermétique, d'un condenseur, d'une soupape de détente et d'un évaporateur. L'évaporateur et le condenseur sont transparents, de sorte que le changement de phase lors de l'évaporation et de la condensation puisse être observé de manière optimale. La fonction de la vanne à flotteur comme soupape de détente est également facile à observer. Avant l'entrée dans l'évaporateur, l'état d'agrégation de l'agent réfrigérant peut être observé sur un voyant. Un circuit d'eau refroidit le condenseur, ou livre la charge de refroidissement pour l'évaporateur. Le débit d'eau froide et chaude, ainsi que celui de l'agent réfrigérant, peuvent être ajustés. Le niveau de pression bas de l'agent réfrigérant permet l'utilisation d'évaporateurs et de condenseurs en verre.

Les températures et pressions sont prises en compte et affichées. De cette manière, il est possible de relever les caractéristiques clés du cycle et de les inscrire dans un diagramme log p,h. En outre, la puissance du compresseur, ainsi que le débit des courants d'eau et d'agent réfrigérant, sont affichés.

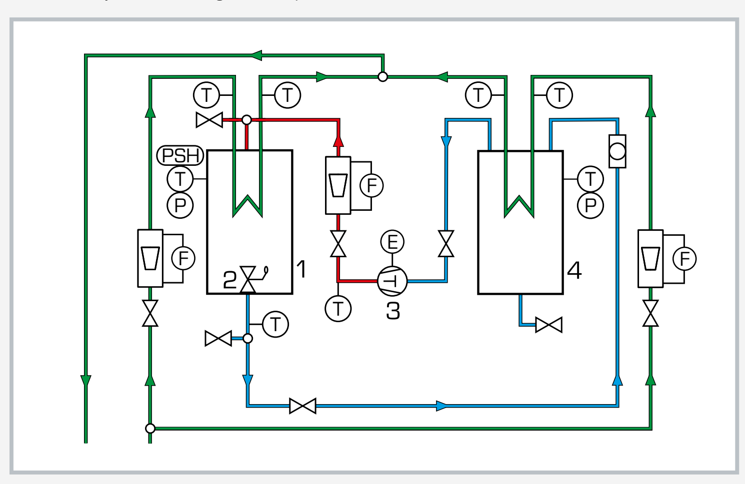
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique à compression
- observation de l'évaporation et de la condensation de l'agent réfrigérant
- représentation et compréhension du cycle frigorifique sur un diagramme log p,h
- bilans énergétiques
- détermination du coefficient de performance

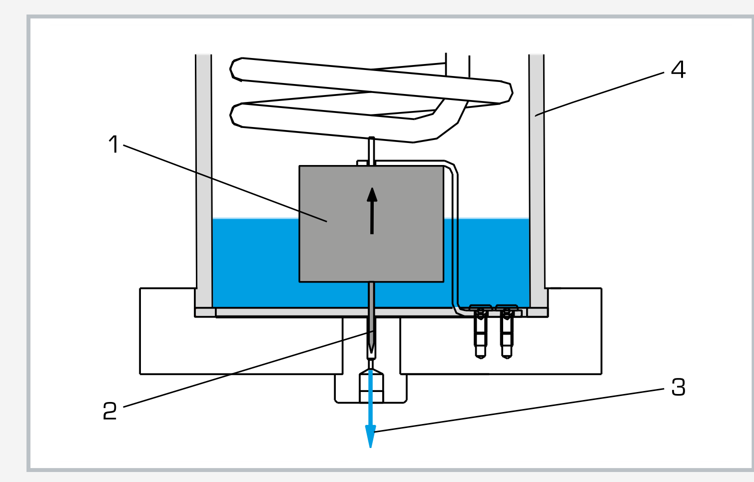
ET 350
Changements d'état dans un circuit frigorifique



1 pressostat, 2 débitmètre, 3 condenseur, 4 soupape de détente, 5 compresseur, 6 évaporateur, 7 voyant, 8 affichage de température, 9 manomètre



1 condenseur, 2 soupape de détente, 3 compresseur, 4 évaporateur; T température, P pression, E puissance électrique, F débit, PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, vert: eau



Soupape de détente sous forme d'une vanne à flotteur: 1 le flotteur soulève une aiguille hors du siège de la valve, 2 aiguille, 3 sortie de l'agent réfrigérant, 4 réservoir

Spécification

[1] démonstration des processus dans un circuit frigorifique
[2] l'évaporateur et le condenseur sont transparents afin de mieux observer le processus
[3] évaporateur et condenseur avec serpentin
[4] soupape de détente sous forme d'une vanne à flotteur
[5] pressostat de protection du compresseur
[6] capteur de température, wattmètre, manomètre en circuit frigorifique, débitmètre pour eau chaude et eau de refroidissement, et agent réfrigérant
[7] soupape de sûreté de l'évaporateur et du condenseur
[8] agent réfrigérant R1233zd, GWP: 1

Caractéristiques techniques

Compresseur à piston hermétique
- cylindrée: 18,3cm^3

Volume de l'évaporateur: env. 2800mL
Volume du condenseur: env. 2800mL

Agent réfrigérant
- R1233zd
- GWP: 1
- volume de remplissage: 1,2kg
- équivalent CO_2: 0t

Plages de mesure
- température: 8x -20...200°C
- pression: 2x -1...1,5bar
- débit:
  - 2x 0...48L/h (eau)
  - 0...700L/h (agent réfrigérant)
- puissance: 0...1200W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1200x500x900mm
Poids: env. 110kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique



ET 400
Circuit frigorifique avec charge variable



Contenu didactique/essais

- montage et composants d'une installation frigorifique
  - compresseur
  - condenseur
  - soupape de détente thermostatique
  - évaporateur
  - pressostat
- représentation du cycle thermodynamique sous forme de diagramme log p,h
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - coefficient de performance
  - puissance frigorifique
  - travail de compression
- comportement en service sous charge

Description

- **circuit frigorifique avec circuit d'eau comme charge**
- **charge de refroidissement définie par température régulée de l'eau**
- **affichage de toutes les valeurs**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

Un circuit frigorifique est étudié avec le ET 400 sous une charge qui peut être paramétrée. Le circuit frigorifique se compose d'un compresseur, d'un condenseur avec ventilateur, d'une soupape de détente thermostatique et d'un échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur. Un circuit d'eau fait office de charge, se composant d'un réservoir avec un dispositif de chauffage et d'une pompe. La température dans le réservoir est ajustée par un régulateur.

La fonction de ce circuit frigorifique est de produire de l'eau froide. L'eau traverse alors la chemise d'eau de l'échangeur de chaleur à serpentin, cède de la chaleur à l'agent réfrigérant et est refroidie par ce biais.

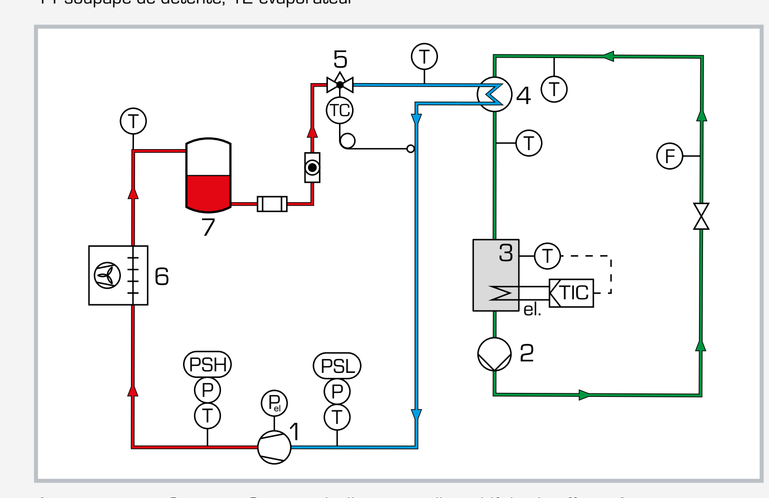
Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par un capteur. La transmission simultanée des valeurs de mesure au logiciel d'acquisition de données permet l'évaluation aisée et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus, comme par exemple, les rapports de pression de compresseur et les coefficients de performance.

Les composants disposés de manière claire facilitent la compréhension.

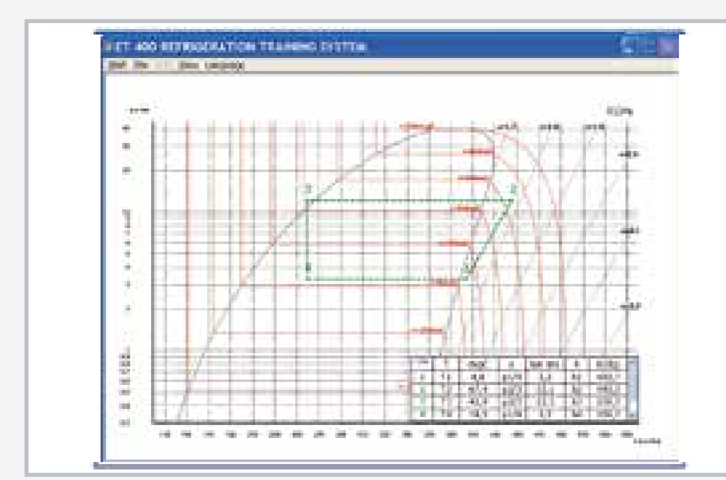
ET 400
Circuit frigorifique avec charge variable



1 condenseur avec ventilateur, 2 réservoir, 3 pressostat de haute pression, 4 éléments d'affichage et de commande, 5 régulateur pour dispositif de chauffage, 6 compresseur, 7 pompe, 8 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 9 filtre/sécheur, 10 voyant, 11 soupape de détente, 12 évaporateur



1 compresseur, 2 pompe, 3 réservoir d'eau avec dispositif de chauffage, 4 évaporateur, 5 soupape de détente, 6 condenseur, 7 réservoir; T température, P pression, F débit, TIC régulateur de température, PSH, PSL pressostat; bleu-rouge: circuit frigorifique, vert: circuit d'eau



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'un circuit frigorifique avec circuit d'eau comme charge
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur avec ventilateur, soupape de détente thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur
[3] circuit d'eau avec pompe, réservoir avec dispositif de chauffage comme charge de refroidissement au niveau de l'évaporateur
[4] dispositif de chauffage avec régulateur pour l'ajustage de la température dans le réservoir
[5] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[6] acquisition de toutes les valeurs de mesure
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: env. 479W à 7,2/54,4°C
- puissance absorbée: 168W à 7,2/54,4°C

Évaporateur
- volume d'agent réfrigérant: 0,4L
- volume d'eau: 0,8L

Condenseur
- surface de transfert: env. 1,25m²
- puissance absorbée du ventilateur: 4x 12W

Pompe
- débit de refoulement max.: 1,9m³/h
- hauteur de refoulement max.: 1,4m

Réservoir
- volume: env. 4,5L
- dispositif de chauffage: env. 450W

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 800g
- équivalent CO_2: 0,5t

Plages de mesure
- pression: 2x -1...15bar
- puissance: 0...750W
- température: 6x 0...100°C
- débit: 0,05...1,8L/min (eau)
- débit: 0...17kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1620x790x1910mm
Poids: env. 192kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



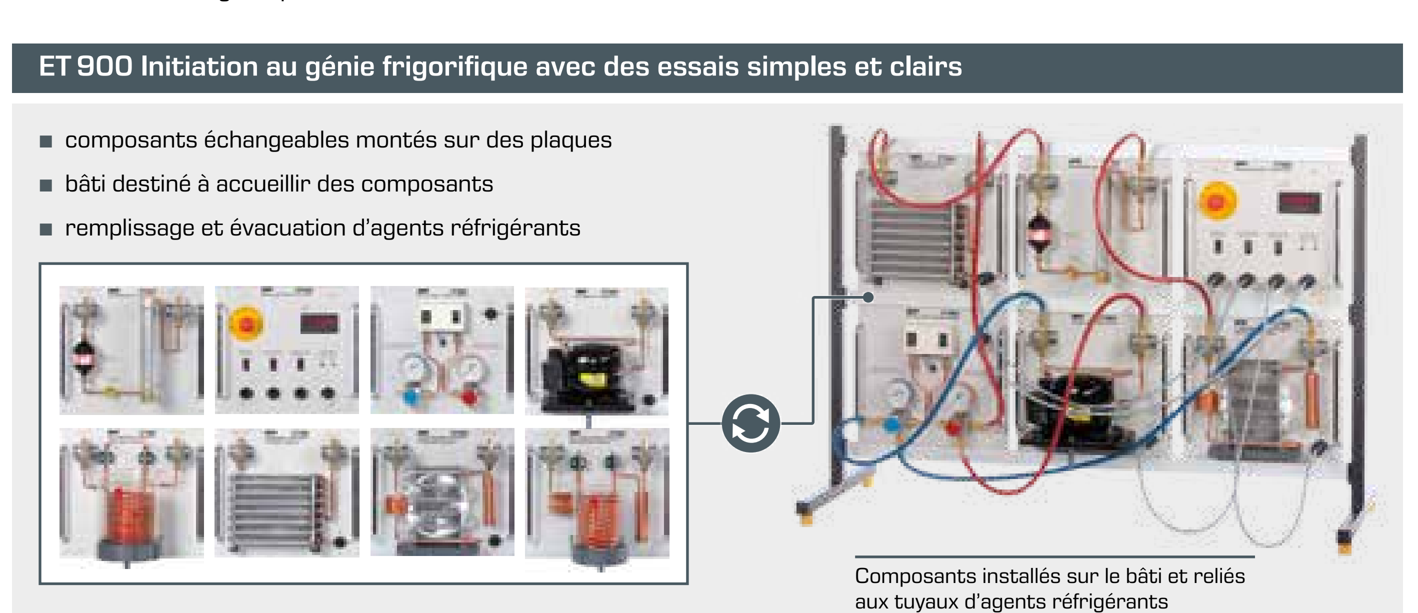
ET 900 – ET 915
Systèmes d'essais dans le domaine du génie frigorifique

Les systèmes traitent des circuits frigorifiques de structure simple

- **ET 900** essais fondamentaux simples et clairs concernant des installations frigorifiques et des pompes à chaleur
- **ET 915** essais fondamentaux avec le soutien d'un logiciel; les évaporateurs sont montés en série et en parallèle
- **ET 910** planifier, construire et tester différentes installations frigorifiques; régulateurs primaires et secondaires dans le circuit frigorifique

ET 900 Initiation au génie frigorifique avec des essais simples et clairs

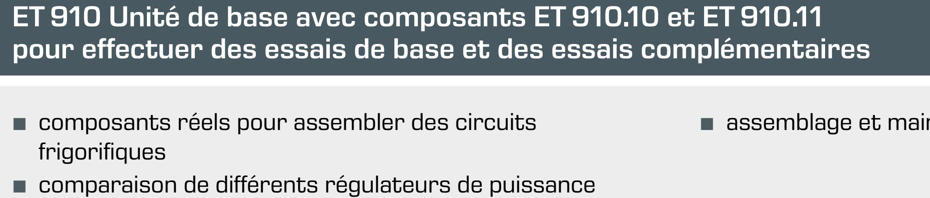
- composants échangeables montés sur des plaques
- bâti destiné à accueillir des composants
- remplissage et évacuation d'agents réfrigérants



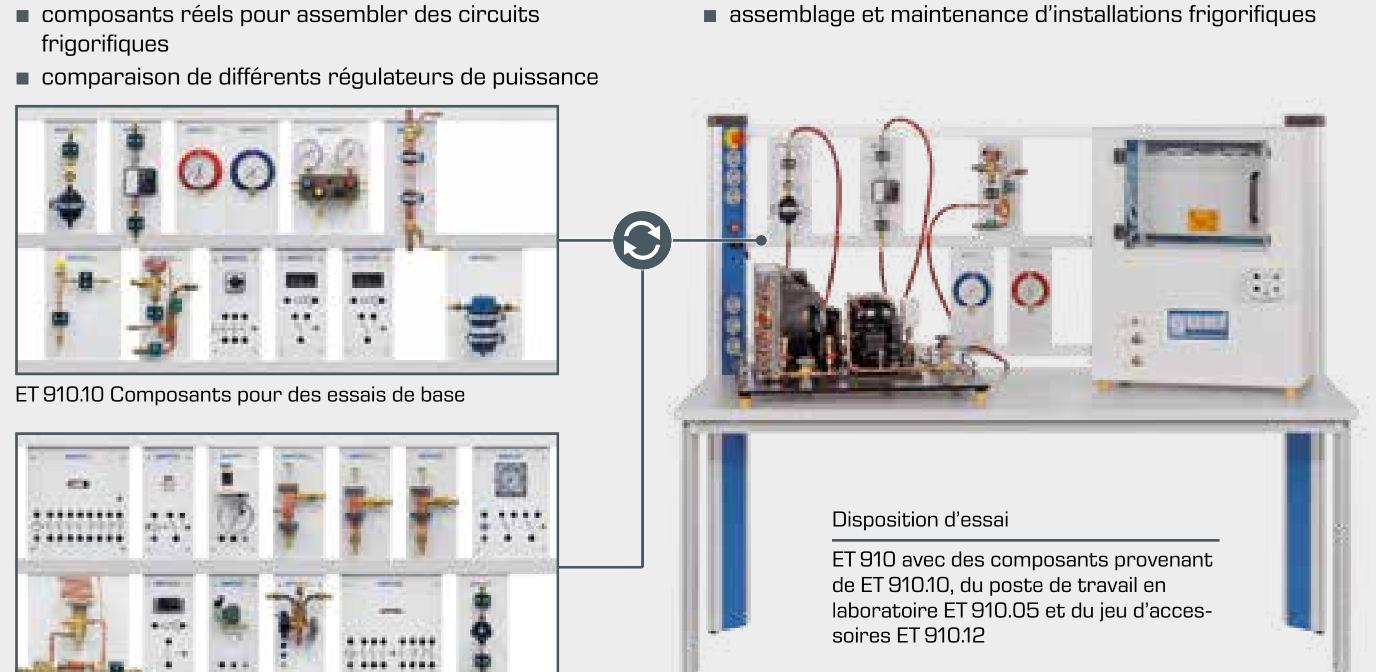
Composants installés sur le bâti et reliés aux tuyaux d'agents réfrigérants

ET 910 Unité de base avec composants ET 910.10 et ET 910.11 pour effectuer des essais de base et des essais complémentaires

- composants réels pour assembler des circuits frigorifiques
- comparaison de différents régulateurs de puissance
- assemblage et maintenance d'installations frigorifiques



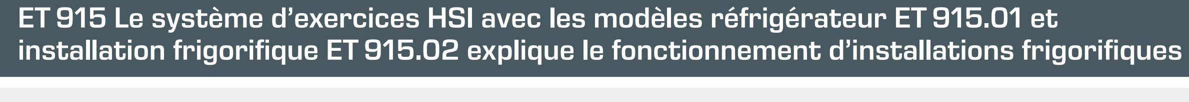
ET 910.10 Composants pour des essais de base



ET 910.11 Composants pour des essais complémentaires

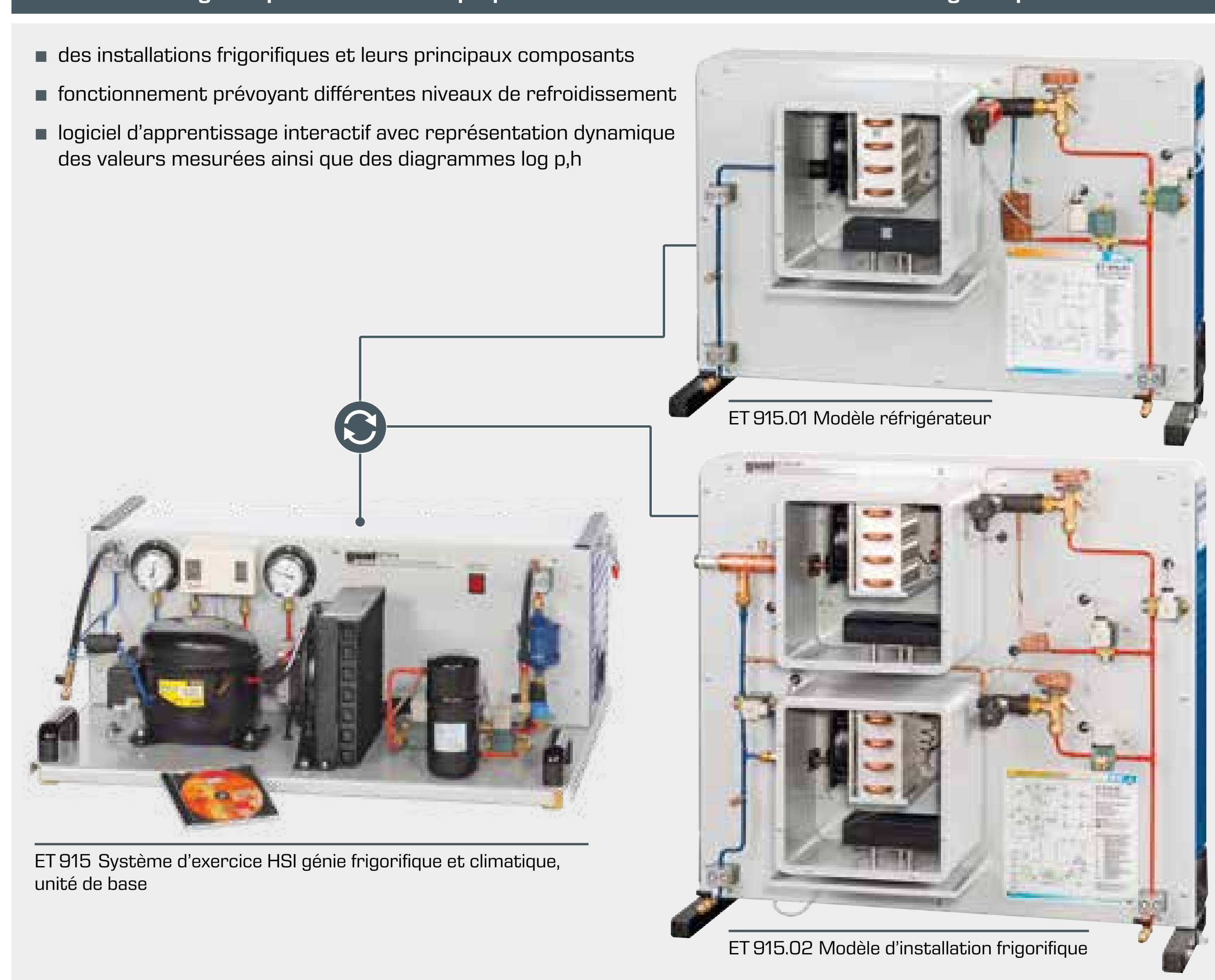
Disposition d'essai

ET 910 avec des composants provenant de ET 910.10, du poste de travail en laboratoire ET 910.05 et du jeu d'accessoires ET 910.12



ET 915 Le système d'exercices HSI avec les modèles réfrigérateur ET 915.01 et installation frigorifique ET 915.02 explique le fonctionnement d'installations frigorifiques

- des installations frigorifiques et leurs principaux composants
- fonctionnement prévoyant différentes niveaux de refroidissement
- logiciel d'apprentissage interactif avec représentation dynamique des valeurs mesurées ainsi que des diagrammes log p,h



ET 915.01 Modèle réfrigérateur

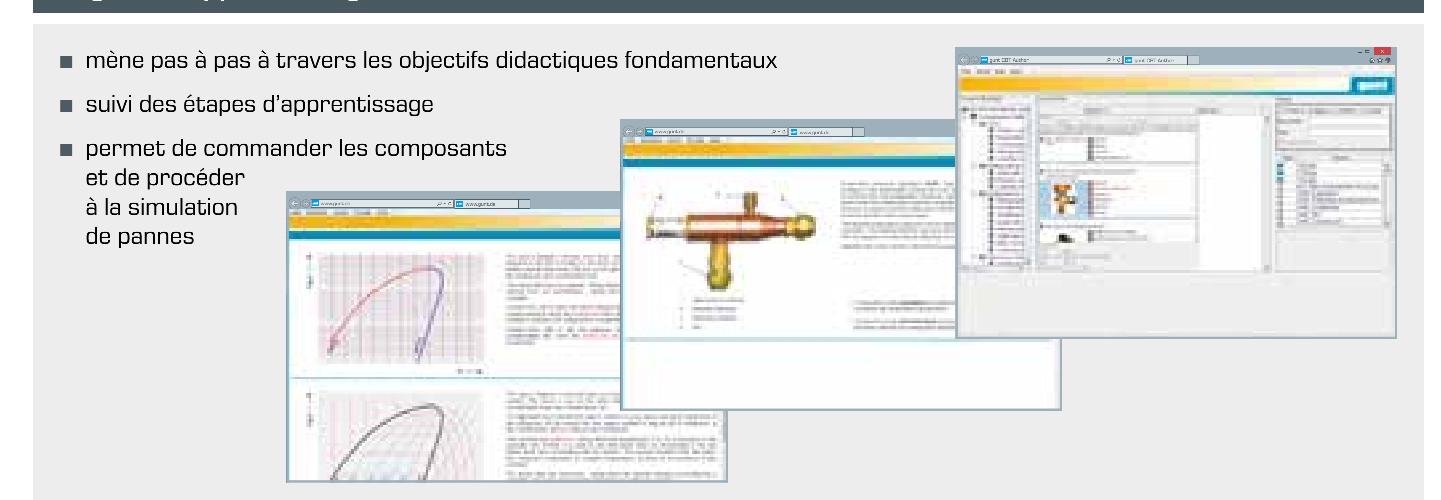


ET 915 Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base

ET 915.02 Modèle d'installation frigorifique

Logiciel d'apprentissage interactif

- mène pas à pas à travers les objectifs didactiques fondamentaux
- suivi des étapes d'apprentissage
- permet de commander les composants et de procéder à la simulation de pannes

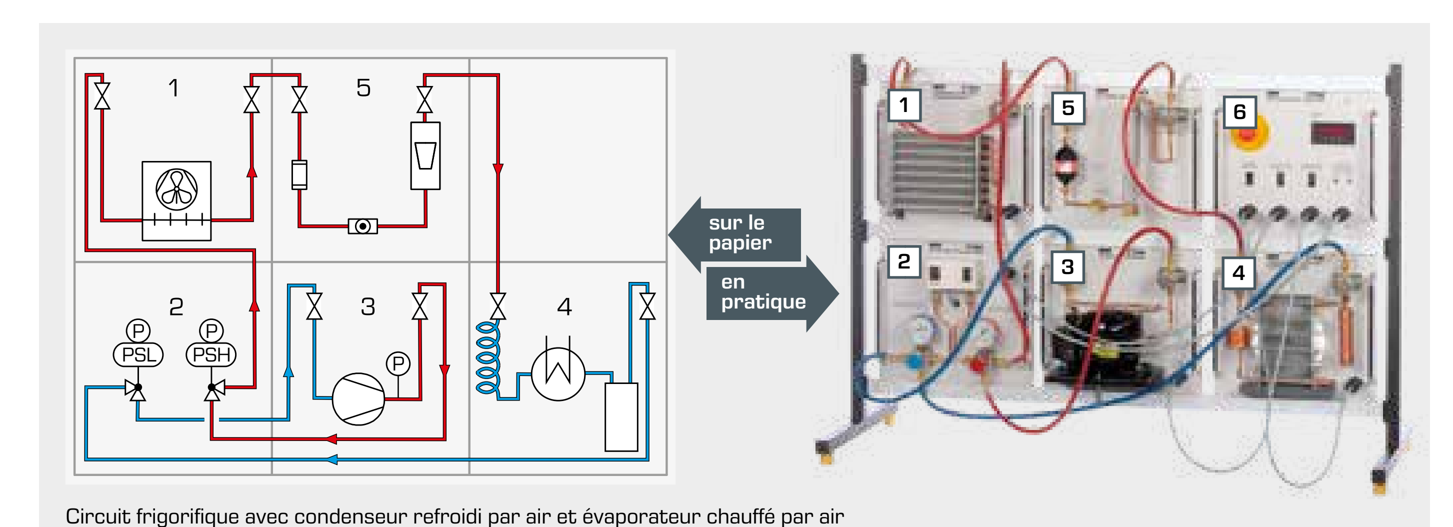




ET 900 Introduction au génie frigorifique

Structure des circuits frigorifiques simples

Avec le système d'apprentissage ET 900, il est possible de se familiariser avec la manipulation et le fonctionnement d'installations frigorifiques. Le système d'exercices contient tous les composants requis pour le fonctionnement, comme par exemple les compresseurs, l'évaporateur, le condenseur et l'élément d'expansion. Des composants complémentaires comme des pressostats, des débitmètres, un voyant avec filtre/sécheur élargissent les objectifs didactiques.



Circuit frigorifique avec condenseur refroidi par air et évaporateur chauffé par air

Schéma de processus: **1** condenseur, **2** pressostat, **3** compresseur, **4** évaporateur, **5** voyant avec filtre/sécheur et débitmètre, **6** éléments d'affichage et de commande



Circuit frigorifique avec condenseur refroidi par eau et évaporateur chauffé pareau

1 condenseur refroidi par eau, **2** pressostat, **3** compresseur, **4** évaporateur chauffé par eau avec tube capillaire, **5** voyant avec filtre/sécheur et débitmètre, **6** éléments d'affichage et de commande

Modules échangeables

Les modules échangeables sont montés sur des plaques et sont prêts à être installés. Les modules condenseur et évaporateur sont respectivement disponibles en deux modèles. Ainsi il est possible d'effectuer différentes combinaisons. La livraison contient un jeu de tuyaux et de câbles.



Voyant avec filtre/sécheur et débitmètre

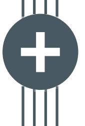
Éléments d'affichage et de commande



Pressostat



Compresseur





Condenseur refroidi par eau



Condenseur refroidi par air



Évaporateur chauffé par air avec tube capillaire (refroidisseur d'air)



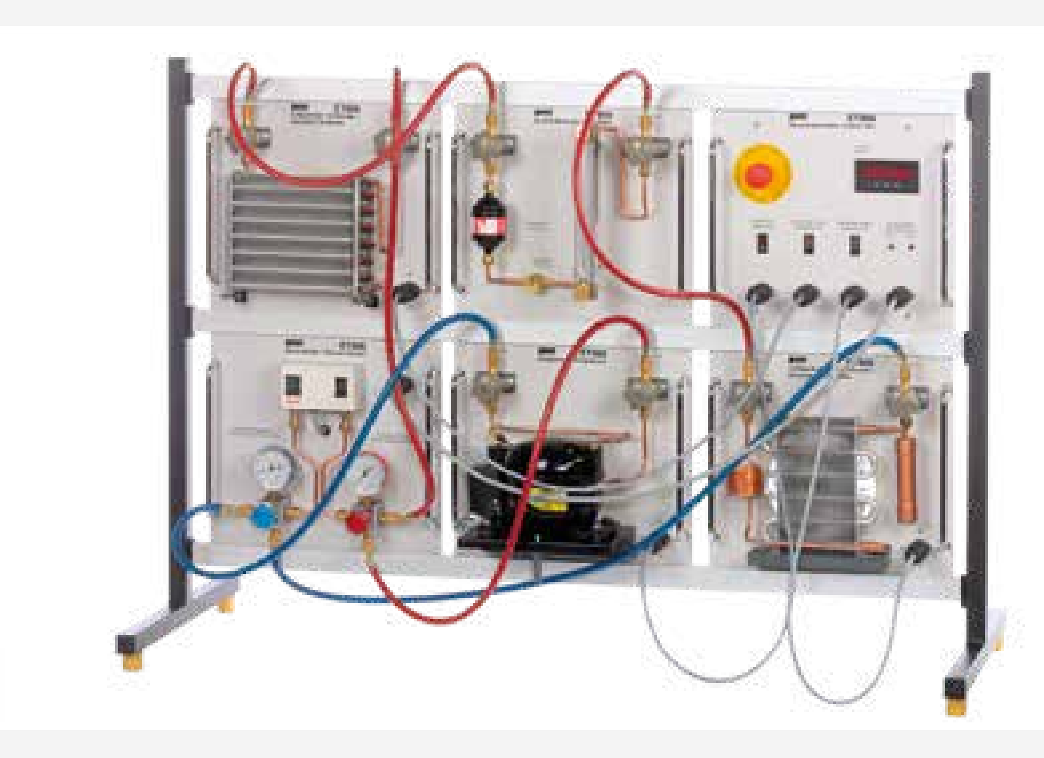
Évaporateur chauffé par eau avec tube capillaire (refroidisseur à eau)

Contenu didactique

- fonctionnement stationnaire: condenseur refroidi par air avec un évaporateur chauffé par air
- fonctionnement non stationnaire: condenseur refroidi par eau avec un évaporateur chauffé par eau
- générateur d'eau froide: condenseur refroidi par air avec un évaporateur chauffé par eau
- pompe à chaleur: évaporateur chauffé par air avec un condenseur refroidi par eau (chauffe-eau)
- vider et remplir une installation frigorifique
- installation frigorifique et ses principaux composants
- principe fondamental d'un cycle thermodynamique
- bilans énergétiques simples
- recherche de pannes



ET 900
Introduction au génie frigorifique



Description

- **système d'exercices avec modules interchangeables**
- **composants montés sur plaques**
- **raccordement rapide des tuyaux**

Cet appareil sert surtout à une introduction aux fondements du génie frigorifique par le biais d'essais simples et clairs.

Le mode opératoire ainsi que la manipulation d'une installation frigorifique sont faciles à découvrir avec le ET 900. L'appareil d'essai comporte tous les composants nécessaires pour un circuit frigorifique entièrement fonctionnel comme le compresseur, le condenseur, l'évaporateur et le tube capillaire en guise d'élément d'expansion. Des composants supplémentaires complètent l'étendue de l'appareil: champ d'affichage et de commande, pressostat et affichage de pression pour protéger le compresseur des hautes pressions ainsi qu'un débitmètre et un voyant avec filtre/sécheur. Le condenseur et l'évaporateur sont respectivement disponibles deux fois: comme échangeur de chaleur air-agent réfrigérant et échangeur de chaleur eau-agent réfrigérant. De ce fait, des combinaisons différentes des composants sont possibles.

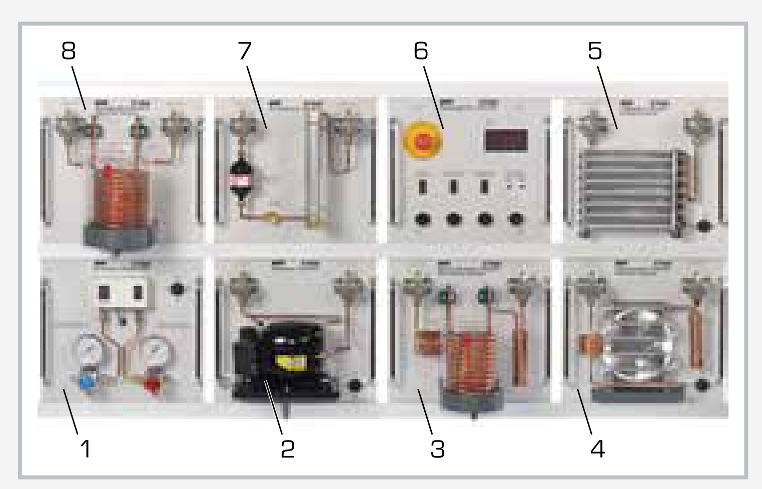
Les composants sont montés sur des plaques et forment un module fini. Respectivement 6 des 8 modules sont positionnés dans le bâti et reliés entre eux par des tuyaux et des câbles d'alimentation. Différentes installations frigorifiques simples peuvent être construites de cette manière. Un appareil de remplissage et d'évacuation ET 150.01 est recommandé pour le remplissage de l'installation.

Au cours des essais, ce sont tout d'abord les procédures qui sont explicitées dans l'appareil ainsi que les changements d'état de l'agent réfrigérant. Des expérimentations complémentaires permettent l'utilisation de l'appareil comme installation frigorifique et comme pompe à chaleur. Les pressions, le débit et la puissance absorbée du compresseur, comme grandeurs caractéristiques importantes des circuits frigorifiques, sont affichés. La mesure de température se produit avec des thermomètres propres au laboratoire.

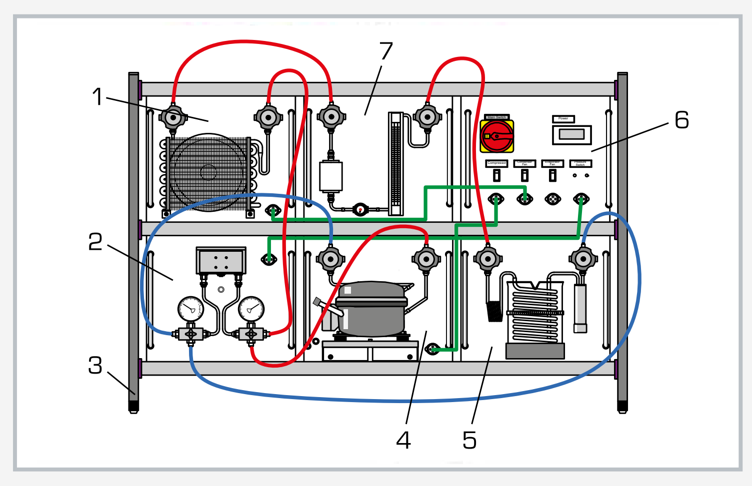
Contenu didactique/essais

- bases d'un circuit frigorifique simple
  - reconnaître et comprendre le cycle
  - changement d'état de l'agent réfrigérant
  - représentation du circuit frigorifique sous forme de schéma de process
  - représentation du cycle sur un diagramme log p,h
  - évaluer les grandeurs caractéristiques, puissance frigorifique et flux thermiques
- différents modes de fonctionnement
  - refroidir l'air
  - produire de l'eau froide
  - pompe à chaleur (produire de l'eau chaude)
- parties exercices pratiques
  - vider et remplir l'installation frigorifique (avec ET 150.01)
  - recherche de pannes

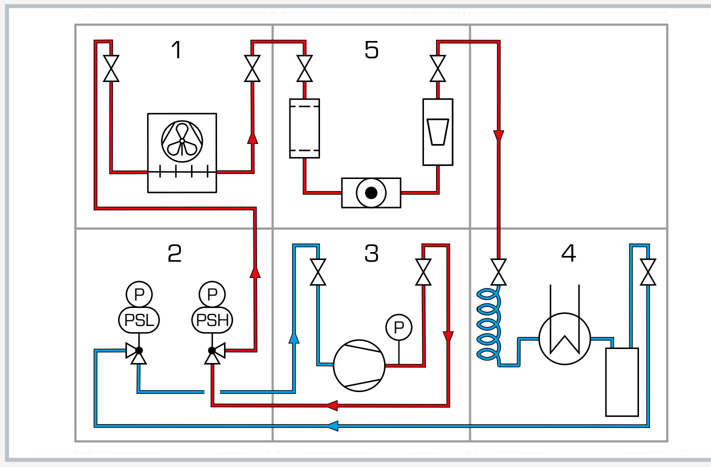
ET 900
Introduction au génie frigorifique



1 pressostat, 2 compresseur, 3 évaporateur chauffé par eau, 4 évaporateur chauffé par air, 5 condenseur refroidi par eau, 6 éléments d'affichage et de commande, 7 voyant avec filtre/sécheur et débitmètre, 8 condenseur refroidi par eau



Circuit frigorifique avec condenseur refroidi par air et évaporateur chauffé par eau;
1 condenseur, 2 pressostat, 3 bâti, 4 compresseur, 5 évaporateur, 6 éléments d'affichage et de commande, 7 voyant avec filtre/sécheur et débitmètre;
bleu: tuyaux du réfrigérant basse pression, rouge: réfrigérant haute pression, vert: câble d'alimentation électrique



1 condenseur, 2 pressostat, 3 compresseur, 4 évaporateur, 5 voyant avec filtre/sécheur et débitmètre

Spécification

[1] construire des circuits frigorifiques simples avec différents composants
[2] 8 modules fonctionnels fermés sur eux-mêmes montés respectivement sur une plaque
[3] bâti léger en aluminium pour l'accueil de 6 modules
[4] évaporateur et condenseur disponibles respectivement comme échangeur de chaleur air-agent réfrigérant (échangeur de chaleur à tube à ailettes) et comme échangeur de chaleur eau-agent réfrigérant (avec serpentin)
[5] modules équipés de soupapes à main
[6] liaison des composants par tuyaux
[7] agent réfrigérant R513A, GWP:631

Caractéristiques techniques

Compresseur d'agent réfrigérant hermétique
- puissance absorbée: 67W à 5/40°C
- puissance frigorifique: 152W à 5/40°C

Contenu du réservoir
- réservoir d'eau, évaporateur: 2L
- réservoir d'eau, condenseur: 3L

Pression de détente du pressostat
- basse pression: 1bar
- haute pression: 14bar

Manomètre
- côté d'entrée (basse pression): 1...10bar
- côté de sortie (haute pression): 1...30bar

Rotamètre: 0,4...7,4L/h

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP:631
- volume de remplissage: 400g
- équivalent CO_2: 0,3t

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1300x700x900mm
Lxh: 370x340mm (modules)
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 bâti
8 modules
1 jeu de flexibles
1 jeu de câbles
1 documentation didactique



ET 910
Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base



Contenu didactique/essais

- en combinaison avec les modèles ET 910.10, ET 910.11, ET 910.13
- montage des circuits frigorifiques à compression
- vider et remplir des installations frigorifiques
- fonction des composants frigorifiques
- cycle de production du froid
- recherche de pannes
- différents modes de fonctionnement du réservoir
  - avec ou sans réservoir
  - pump-down
  - remplissage du circuit frigorifique
- comparer différents éléments d'expansion
- un curriculum structuré et une représentation approfondie du spectre d'essai se trouvent dans notre brochure de produit ET 910.

Description

- **montage des circuits frigorifiques les plus divers en utilisant les jeux de composants modulaires**
- **disposition claire des composants**

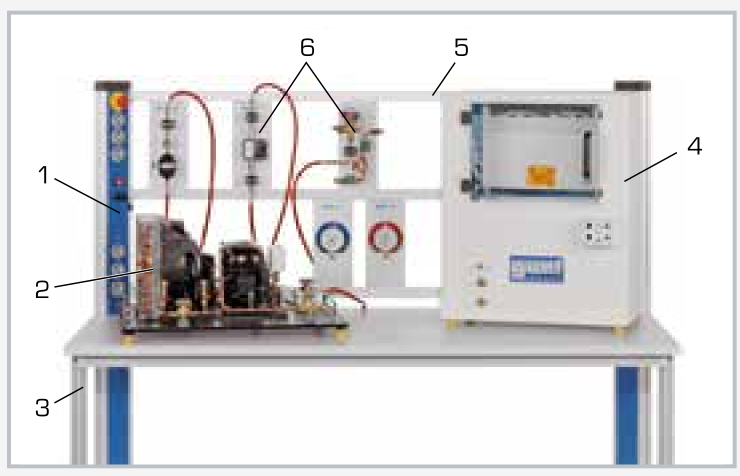
Il est possible de réaliser des expérimentations pratiques pour le fonctionnement d'une installation frigorifique par le maniement de circuits frigorifiques à compression configurés de différentes manières. Les composants utilisés sont courants en génie frigorifique et possèdent donc un rapport pratique élevé.

L'unité de base ET 910 comprend les parties principales d'un circuit frigorifique: un groupe frigorifique avec compresseur, condenseur et réservoir ainsi qu'une chambre de refroidissement avec évaporateur intégré, ventilateur pour ventilation forcée et un chauffage de dégivrage électrique. Un pressostat protège le compresseur des pressions trop importantes. Le débit d'agent réfrigérant peut être modifié par soupape d'arrêt.

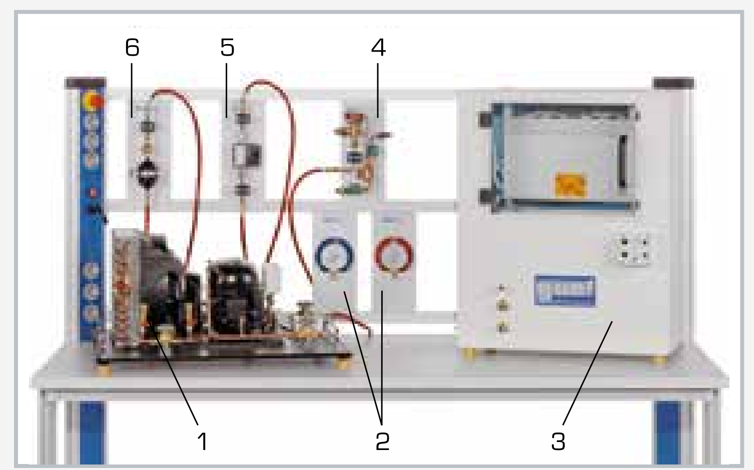
Des combinaisons de circuits frigorifiques simples peuvent être réalisées en combinaison avec les composants du ET 910.10, comme par exemple échangeur de chaleur, débitmètre ou manomètre. Pour des essais permettant d'approfondir le sujet essais complémentaires des composants frigorifiques supplémentaires du ET 910.11 sont utilisés comme par exemple la vanne de réinjection, le régulateur de réinjection ou l'horloge de commutation de dégivrage. Tous les composants du système d'exercice disposent d'un robinet à tournant sphérique au niveau des raccords. Les composants sont liés ensemble à l'aide du jeu d'accessoires nécessaires ET 910.12 pour former une installation frigorifique complète. Le montage de l'essai complet ET 910.05, poste de travail/laboratoire avec bâti de réception des composants ainsi qu'alimentation électrique, est nécessaire. L'agent de réfrigération R513A fait office de fluide de travail.

Des exercices supplémentaires de remplissage et d'évacuation de l'installation frigorifique sont réalisés avec le kit de maintenance ET 910.13.

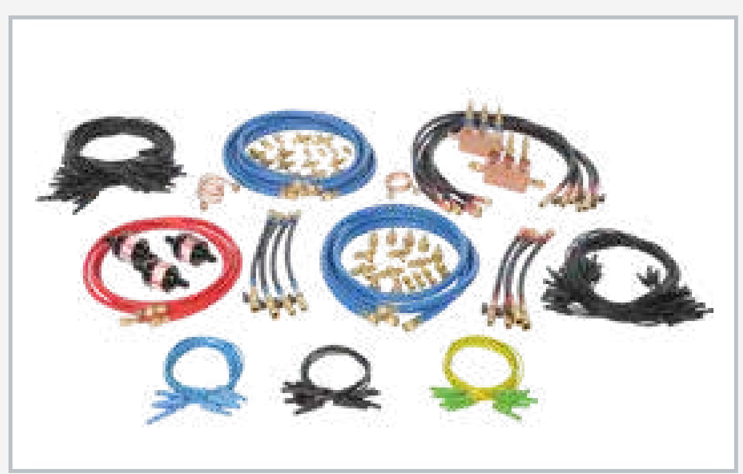
ET 910
Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base



1 alimentation électrique (ET 910.05), 2 groupe frigorifique, 3 table (ET 910.05), 4 chambre de refroidissement, 5 bâti (ET 910.05), 6 composants du ET 910.10



1 groupe frigorifique avec compresseur, condenseur et réservoir, 2 manomètre (ET 910.10), 3 chambre de refroidissement avec évaporateur et chauffage électrique de dégivrage, 4 soupape de détente (ET 910.10, 5 débitmètre (ET 910.10), 6 voyant avec filtre/sécheur (ET 910.10)



L'illustration montre le jeu d'accessoires ET 910.12

Spécification

[1] unité de base du système d'exercices en génie frigorifique
[2] élargissement avec des composants du ET 910.10 pour essais de base avec circuits frigorifiques simples
[3] élargissement avec des composants du ET 910.11 pour des essais complémentaires sur les installations frigorifiques
[4] groupe frigorifique se composant d'un compresseur hermétique, d'un condenseur, d'un réservoir, d'un pressostat et de soupapes d'arrêt
[5] chambre de refroidissement isolée avec évaporateur intégré, chauffage électrique de dégivrage et coupelle pour condensat
[6] chambre de refroidissement, groupe frigorifique et alimentation électrique équipée de connecteurs de laboratoire de sécurité de laboratoire
[7] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Groupe frigorifique refroidi par air
- puissance frigorifique: 1220W à 5/40°C
- débit volumétrique d'air max.: 850m^3/h
- réservoir: 1,4L

Évaporateur avec ventilateur
- surface de refroidissement: 1,81m^2
- débit volumétrique d'air max.: 140m^3/h
- chauffage de dégivrage électrique: 50W/m

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1kg
- équivalent CO_2: 0,6t

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 600x300x700mm (chambre de refroidissement)
Lxlxh: 670x550x380mm (groupe frigorifique)
Poids: env. 45kg

Liste de livraison

1 groupe frigorifique
1 chambre de refroidissement
1 documentation didactique

ET 910.10
Composants frigorifiques pour des essais de base



L'illustration montre les composants dans le bâti du ET 910.05.

Description

- **montage de circuits frigorifques simples**
- **essais de base pratiques avec des composants réels issus de l'industrie**

Le ET 910.10 permet la réalisation, avec les ET 910, ET 910.05 et le kit d'accessoires ET 910.12, d'essais de base variés en génie frigorifique.

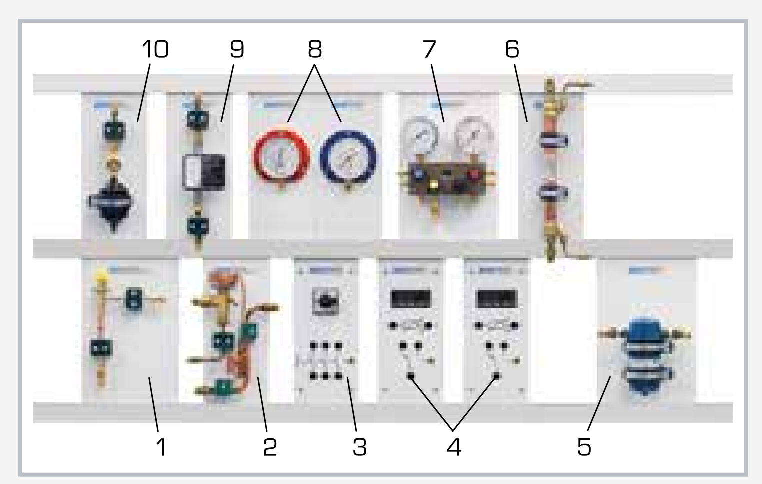
Des composants usuels sont utilisés dans des essais pratiques. Ces composants sont montés sur les plaques et prêts à être raccordés et sont disposés de manière claire dans le bâti du ET 910.05.

Le kit comprend des composants frigorifiques simples tels que éléments d'expansion et filtres, de même que des composants électriques comme par exemple commutateurs et thermostat. Le surchauffeur contenu dans le kit est un échangeur de chaleur, qui se charge de l'évaporation complète de l'agent réfrigérant avant l'entrée dans le compresseur pendant que l'agent réfrigérant liquide est surrefroidi avant l'élément d'expansion. Le comportement de régulation de l'élément d'expansion est observé au niveau du débitmètre. Les manomètres permettent d'avoir un aperçu des rapports de pression du circuit frigorifique. Le changement d'état de l'agent réfrigérant peut être suivie grâce aux mesures de pression et de température et être inscrite dans le diagramme log p,h. La mesure de température se produit avec des thermomètres propres au laboratoire.

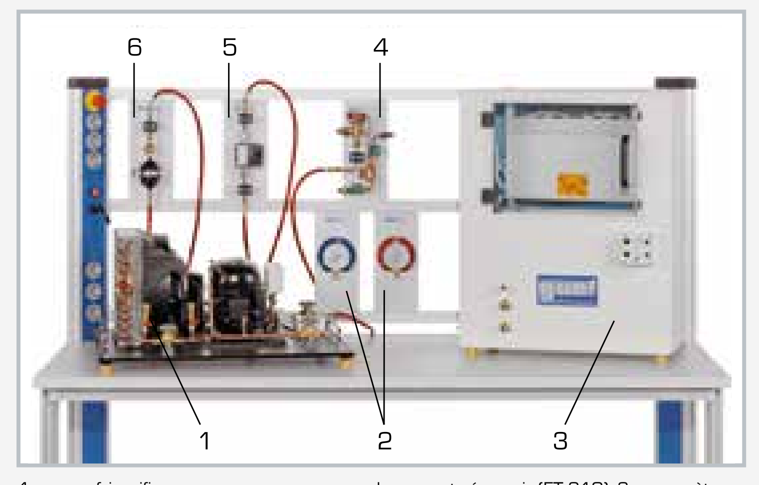
Contenu didactique/essais

- montage de différents circuits frigorifiques simples
- structure, fonction et ajustage des composants
  - voyant avec filtre/sécheur
  - débitmètre
  - manomètre de pression et d'aspiration
  - aide d'assemblage
  - surchauffeur
  - soupape de détente régulée par pression
  - soupape de détente thermostatique
  - disjoncteur à 3 pôles
  - thermostat électrique à commande deux points avec hystérésis de commutation
- séparateur de liquide
- lire et comprendre les dessins techniques et notices d'utilisation
- recherche de pannes

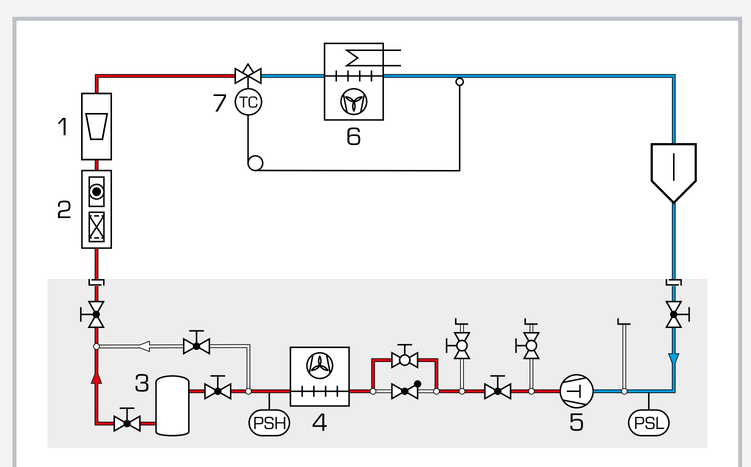
ET 910.10
Composants frigorifiques pour des essais de base



1 soupape de détente régulée par pression, 2 soupape de détente thermostatique, 3 disjoncteur, 4 thermostat électrique, 5 séparateur de liquide, 6 échangeur de chaleur, 7 aide d'assemblage, 8 manomètre côté pression/aspiration, 9 débitmètre, 10 voyant avec filtre/sécheur



1 groupe frigorifique avec compresseur, condenseur et réservoir (ET 910), 2 manomètre, 3 chambre de refroidissement avec évaporateur (ET 910), 4 soupape de détente, 5 débitmètre, 6 voyant avec filtre/sécheur



1 débitmètre, 2 voyant avec filtre/sécheur, 3 réservoir, 4 condenseur, 5 compresseur, 6 évaporateur, 7 vanne d'expansion thermostatique, PSL, PSH pressostat; rouge: haute pression, bleu: basse pression

Spécification

[1] composants pour le montage de circuits frigorifiques simples avec le ET 910
[2] échangeur de chaleur comme surchauffeur
[3] disjoncteur 3 pôles
[4] vanne à 4 voies avec voyant
[5] voyant avec indicateur d'humidité
[6] soupape de détente régulée par pression
[7] soupape de détente thermostatique
[8] 2 thermostats avec différentes plages de température
[9] composants montés sur plaques et prêts à être raccordés
[10] symbolique résistante à l'usure et dénominations sur les plaques

Caractéristiques techniques

Soupape de détente régulée par pression
- domaine de pression: 1...7bar

Soupape de détente thermostatique
- température d'évaporation: -45°...20°C

Disjoncteur 3 pôles: 3kW
2 thermostats électriques
- -5...25°C
- -25...5°C

Échangeur de chaleur
- puissance: env. 2,5kW à -10°C
- température d'évaporation

Séparateur de liquide: 0,3L, max. 28bar

Plages de mesure
- pression: -1...9bar, -1...24bar
- débit: 3...41kg/h

Hauteur de plaque: 297mm
Poids: env. 20kg

Liste de livraison

12 composants sur plaques:
1 soupape de détente régulée par pression
1 soupape de détente thermostatique
1 disjoncteur
2 thermostats électriques
1 échangeur de chaleur
1 aide d'assemblage
2 manomètres
1 débitmètre
1 voyant avec filtre/sécheur
1 séparateur de liquide

ET 910.11
Composants frigorifiques pour essais complémentaires



L'illustration montre les composants dans le bâti du ET 910.05

Description

- **montage de circuits frigorifiques complexes**
- **composants exigeants pour des essais complémentaires**

Le ET 910.11 permet la réalisation, avec les ET 910, ET 910.10, ET 910.05 et le kit d'accessoires ET 910.12, d'essais complémentaires en génie frigorifique.

Des composants usuels sont utilisés dans des essais pratiques. Ces composants sont montés sur les plaques et prêts à être raccordés et sont disposés de manière claire dans le bâti du ET 910.05.

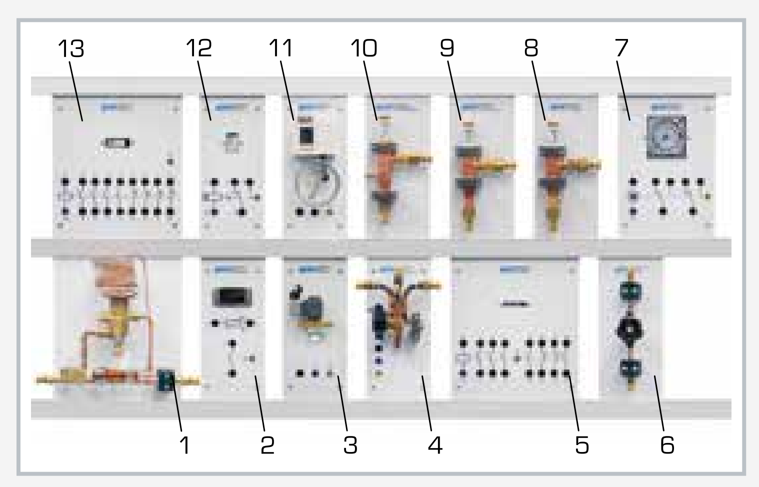
Le kit comprend des composants frigorifiques complexes tels qu'un régulateur de puissance, un régulateur de pression d'admission, une horloge de commutation de dégivrage, une vanne d'inversion à quatre voies et un régulateur de réfrigération. La vanne d'inversion à quatre voies sert par exemple à inverser le circuit. On peut ainsi dégivrer un évaporateur givré, en le faisant fonctionner provisoirement comme un condenseur. Les manomètres permettent d'avoir un aperçu des rapports de pression du circuit frigorifique.

Le changement d'état de l'agent réfrigérant peut être suivie grâce aux mesures de pression et de température et être inscrite dans le diagramme log p,h. La mesure de température se produit avec des thermomètres propres au laboratoire.

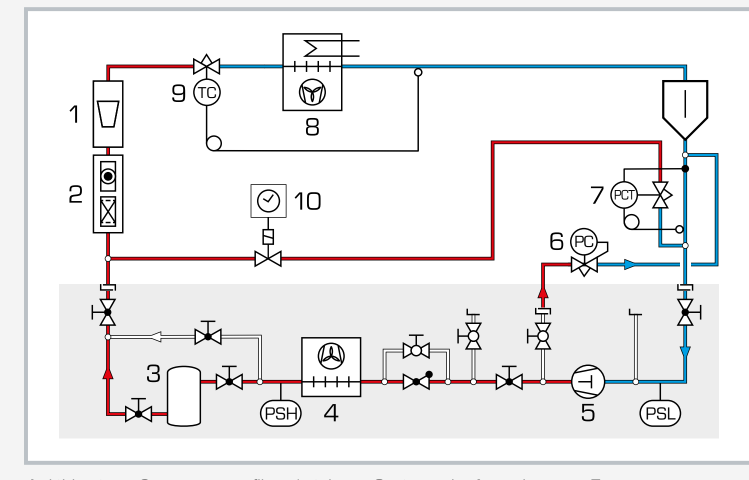
Contenu didactique/essais

- montage de différents circuits frigorifiques
- structure, fonction et ajustage des composants
  - régulateur de pression d'évaporation, de pression d'admission, de puissance et de réfrigération
  - thermostat électrique
  - soupape comme élément d'expansion
  - vanne de réinjection
  - électrovanne avec bobine
  - vanne d'inversion à quatre voies
  - contacteur de puissance et auxiliaire
  - relais temporisé
  - horloge de commutation de dégivrage
  - dégivrage par gaz chauds
- lire et comprendre les dessins techniques et notices d'utilisation
- recherche de pannes

ET 910.11
Composants frigorifiques pour essais complémentaires



1 vanne de réinjection, 2 régulateur de réfrigération, 3 électrovanne, 4 vanne d'inversion à quatre voies, 5 contacteur de puissance, 6 soupape, 7 horloge de commutation de dégivrage, 8 régulateur de puissance, 9 régulateur de démarrage, 10 régulateur de pression d'évaporation, 11 thermostat, 12 relais temporisé, 13 relais auxiliaire



1 débitmètre, 2 voyant avec filtre/sécheur, 3 réservoir, 4 condenseur, 5 compresseur, 6 régulateur de pression, 7 vanne de réinjection, 8 évaporateur, 9 soupape de détente, 10 soupape; PSL, PSH pressostat; rouge/bleu: haute/basse pression

Spécification

[1] composants pour le montage de circuits frigorifique complexes avec les ET 910 et ET 910.10
[2] vanne de réinjection
[3] régulateur de réfrigération avec capteur PTC
[4] horloge de commutation de dégivrage, pas de commutation 30min
[5] relais temporisé
[6] vanne d'inversion à quatre voies, électrovanne
[7] thermostat électrique comme régulateur de température
[8] contacteur de puissance et auxiliaire

Caractéristiques techniques

Thermostat: -5...35°C
Régulateur de réfrigération: -40...110°C
Vanne de réinjection: -45...35°C
Relais temporisé
- temps de réponse: 0,05s...100h

Plages de réglage
- régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar
- régulateur de pression d'admission: 0,2...6bar
- régulateur de puissance: 0,2...6bar

Hauteur de plaque: 297mm
Poids: env. 25kg

Liste de livraison

14	composants sur plaques:
1	soupape à main
1	thermostat
1	régulateur de pression d'évaporation
1	régulateur de pression d'admission
1	régulateur de puissance
1	vanne d'inversion à quatre voies
1	vanne de réinjection
1	régulateur de réfrigération
2	électrovannes
1	relais temporisé
1	contacteur de puissance
1	contacteur auxiliaire
1	horloge de commutation de dégivrage



ET 910.05

Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique



L'illustration montre la table avec barrette d'alimentation et bâti. Le conteneur à roues et le cadre mobile ne sont pas représentés.

Description

- **poste de travail/laboratoire avec barrette d'alimentation**

Ce poste de travail/laboratoire permet le montage d'un banc d'essai complet en combinaison avec l'unité de base ET 910 et les kits de complément ET 910.10 et ET 910.11 ainsi que le kit d'accessoires ET 910.12.

Le poste de travail/laboratoire se compose d'une table équipée d'une barrette d'alimentation, un bâti pour la réception des composants, un conteneur à roues et un cadre mobile pour le groupe frigorifique.

Spécification

[1] poste de travail/laboratoire pour le système d'exercices modulaire en génie frigorifique
[2] table avec barrette d'alimentation
[3] conteneur à roues avec tiroirs
[4] cadre mobile à 4 roulettes freinables

Caractéristiques techniques

Barrette d'alimentation
- disjoncteur différentiel: 25A
- disjoncteur-protecteur: 10...16A
- interrupteur à clé amovible, prises, connecteurs de laboratoire, protecteur automatique, interrupteur de ligne

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1800x810x1510mm (table)
Lxlxh: 420x600x625mm (conteneur à roues)
Lxlxh: 600x900x780mm (cadre)
Poids: env. 80kg

Liste de livraison

1 table
1 conteneur à roues
1 cadre mobile pour le groupe frigorifique

ET 910
Cours portant sur le génie frigorifique

Formation en génie frigorifique:
planifier, assembler et tester différentes configurations d'installations frigorifiques

Le système d'exercices pour un cours orienté d'après la pratique



Conception didactique et objectifs didactiques

En offrant une sélection très complète de composants du génie frigorifique, le système d'exercices modulaire permet d'effectuer différents montages des circuits de l'agent réfrigérant. Les essais permettent de travailler de manière didactique sur des solutions et problèmes pratiques du génie frigorifique.

En proposant des essais en lien étroit avec la pratique, le système d'exercices accompagne de manière optimale les champs d'apprentissage de la formation de mécatronicien pour le génie frigorifique. L'utilisation de mesures de température permet d'étendre les possibilités d'essai. Ainsi, l'appareil offre divers essais qualitatifs et peut donc être utilisé avec beaucoup de succès dans le cadre de la formation universitaire appliquée pour les essais pratiques dans le domaine de la technique énergétique/du génie frigorifique.

En combinant les différents composants inclus, de nombreux montages du génie frigorifique industriel peuvent être simulés. En intégrant des dérivations, on peut mettre facilement en évidence le comportement du système avec ou sans l'utilisation d'un composant spécifique. Cela permet de comprendre de manière durable la façon dont les composants fonctionnent ensemble.

Le système d'exercices est idéal pour les travaux autonomes en groupes de deux ou trois apprentis ou étudiants. Contrairement aux montages expérimentaux avec tuyauterie fixe, on peut ici modifier facilement et rapidement le circuit frigorifique, et observer immédiatement les effets que cela produit. Cette observation directe assure un succès d'apprentissage durable. Les apprentis/étudiants tirent un bénéfice immédiat du fait de pouvoir réaliser de manière autonome un système réel et fonctionnel à partir du diagramme du système.

Le système d'exercices ET 910 utilise des composants industriels standard du génie frigorifique. Ce qui permet de les identifier facilement et d'assurer un lien étroit avec la pratique. Les composants ont été sélectionnés de telle manière à couvrir le plus grand nombre possible de thématiques de l'apprentissage.

Grâce à l'utilisation de plaques modulaires, on peut réaliser les essais de manière flexible et claire. L'utilisation de tuyaux pouvant être fermés minimise les pertes d'agent réfrigérant lorsque l'on modifie le montage de l'essai.

Aujourd'hui encore, les clients nous disent qu'ils appliquent les connaissances qu'ils ont acquises avec l'ET 910, même des années plus tard, lorsqu'il s'agit de comprendre des systèmes complexes.

Couverture des champs d'apprentissage dans le cadre de la formation de mécatronicien frigoriste par le travail expérimental avec le système d'apprentissage ET 910

Génie frigorifique	Génie climatique	Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique
Liens fonctionnels dans le circuit frigorifique	Étude des états de l'air	**Bases de l'électrotechnique**
Fabrication de systèmes partiels mécaniques	Liens fondamentaux en ventilation et climatisation	**Consommateurs sur le courant alternatif monophasé**
Thermodynamique, diagramme log p,h	Éléments de construction et fonctionnement de l'installation de climatisation	**Protection contre les risques électriques**
Agents réfrigérants et lubrifiants	Climatisation, diagramme h,x	**Commandes simples en génie frigorifique**
Régulateurs primaires et secondaires	Circuit d'air dans le système de conduits	Consommateurs sur le courant alternatif triphasé
Échangeurs de chaleur	Mesures d'ignifugation	Entraînements électriques et recherche de pannes
Compresseurs	Économie d'énergie	**Régulation d'installations frigorifiques**
Tuyauterie		Automatisation de bâtiments
Dépannage, maintenance et élimination		

■ applicable pour le système d'exercice ET 910

Gamme d'essais

Différents éléments d'expansion – fonctionnement et caractéristiques

- vanne à main comme élément d'expansion
- soupape de détente régulée par pression
- tube capillaire
- soupape de détente thermostatique avec compensation interne de la pression

Différentes régulations de température – fonctionnement et caractéristiques

- régulation de température d'évaporation via un régulateur de pression d'évaporation KVP (étape de refroidissement normale)
- régulation de température de la chambre froide via un thermorupteur avec commande de compresseur
- régulation de température de la chambre froide via un régulateur de température électrique avec commande de compresseur

Différentes régulations de puissance – fonctionnement et caractéristiques

- régulateur de puissance KVC
- régulateur de puissance KVC avec vanne de réinjection
- régulateur de réfrigération électrique avec électrovanne et commande pump-down

Différentes commandes de dégivrage dans le domaine de la congélation – fonctionnement et caractéristiques

- mise à l'arrêt du compresseur via une horloge de commutation de dégivrage
- mise à l'arrêt du compresseur via un thermostat d'évaporation
- chauffage de dégivrage électrique via une horloge de commutation de dégivrage
- dégivrage par gaz chauds via une vanne d'inversion et une horloge de commutation de dégivrage

Différentes extensions pour le circuit frigorifique – fonctionnement et caractéristiques

- influence d'un échangeur de chaleur – surrefroidissement et surchauffe
- démarrage de compresseur sans pression via une soupape de dérivation avec retard
- régulation de pression d'aspiration via un régulateur de démarrage KVL
- séparateur de liquides dans la conduite d'aspiration
- fonctionnement avec ou sans collecteur

Différentes extensions pour le circuit frigorifique – dépannage et maintenance

- ouvrir le circuit frigorifique avec le déplacement d'agent frigorifique
- ouvrir le circuit frigorifique avec vider par aspiration de l'agent réfrigérant
- évacuer le circuit frigorifique
- remplir le circuit frigorifique
- recherche des fuites
- ajuster les thermostats et les régulateurs
- vérifier le fonctionnement électrique



ET 910 – ET 910.13 Construction du système d'exercices

Construction modulaire de l'appareil

Le système d'exercices en génie frigorifique, unité de base ET 910 associé aux unités supplémentaires:

- ET 910.05 Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique,
- ET 910.10 Composants frigorifiques pour des essais de base,
- ET 910.11 Composants frigorifiques pour essais complémentaires,
- ET 910.12 Jeu d'accessoires et
- ET 910.13 Kit de maintenance

représente un système modulaire d'installation frigorifique à compression.

La version de base permet déjà d'expérimenter de nombreuses problématiques. Le système peut être complété par l'ET 910.11 et l'ET 910.13 pour une étude plus approfondie de la thématique.

L'aspect modulaire de l'installation permet aux apprentis/étudiants d'effectuer eux-mêmes des montages de circuits frigorifiques plus ou moins complexes. Les différents composants sont reliés entre eux par des flexibles. Grâce à la modularité, des systèmes multi-utilisateurs peuvent également être montés à faible coût.

Version de base ET 910.10

Principes de base du circuit frigorifique

- circuit frigorifique simple, composé d'un compresseur, d'un condenseur, d'un réservoir, d'un filtre/sécheur, d'une soupape de détente, d'un évaporateur
- fonctionnement des différents composants
- pressions et températures dans le cycle
- comportement avec différentes charges de refroidissement
- comportement avec différentes températures de la chambre froide
- comportement avec différents débits massiques

Observations approfondies du circuit frigorifique

- fonctionnement de l'évaporateur (pression d'évaporation, surchauffe)
- différence évaporateur ventilé/non ventilé, formation de givre dans l'évaporateur
- fonctionnement du condenseur et du réservoir (pression de condensation)
- fonctionnement de l'échangeur de chaleur, surrefroidisseur/surchauffeur
- fonctionnement du séparateur de liquide
- effet des pertes de charge dans le système de tuyauterie, simulation au moyen d'une soupape manuelle
- effets du sur-/sous-remplissage
- fonctionnement du filtre/sécheur et voyant
- raccordement électrique d'un consommateur

ET 910
Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base



ET 910.05
Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique



ET 910.12
Jeu d'accessoires

ET 910.10
Composants frigorifiques pour des essais de base

Équipement minimal pour un poste de travail fonctionnel, composé de **ET 910** Système d'exercices en génie frigorifique, unité de base, **ET 910.10** Composants frigorifiques pour des essais de base, **ET 910.05** Poste de travail/laboratoire en génie frigorifique et **ET 910.12** Jeu d'accessoires.

Jeu complémentaire ET 910.11

Régulateurs primaires et secondaires dans le circuit frigorifique

- différents éléments d'expansion: soupape d'étranglement manuelle, tube capillaire, soupape de détente régulée par pression, soupape de détente thermostatique.
- divers régulateurs de puissance: régulateur de pression d'évaporation KVP, régulateur de démarrage KVL, régulateur de puissance KVC avec vanne de réinjection, thermostat électrique avec électrovanne, régulateur de réfrigération avec électrovanne
- commande pump down du compresseur
- démarrage déchargé du compresseur grâce à une soupape de dérivation temporisée
- chauffage de dégivrage électrique avec horloge de commutation de dégivrage
- dégivrage par gaz chauds avec vanne d'inversion à 4 voies et horloge de commutation de dégivrage

Commandes électriques simples issues du génie frigorifique

- maîtrise des principes de base de la technique de commande
- réalisation de tâches du génie frigorifique: régulation thermostatique, verrouillage, mode alterné, circuit de temporisation, régulateur de réfrigération électronique

ET 910.11
Composants frigorifiques pour essais complémentaires



Essais supplémentaires avec des régulateurs primaires et secondaires dans le circuit frigorifique. Des composants électriques permettent également de réaliser des tâches du domaine de l'électrotechnique.

Kit de maintenance ET 910.13

Dépannage et entretien

- vider et évacuer l'installation
- remplir l'installation et vérifier l'étanchéité
- ouvrir l'installation avec déplacement de l'agent réfrigérant/pump-down
- ajuster les soupapes de détente, thermostats et régulateurs de pression

Le kit de maintenance comprend pour principalement

- une sélection d'outils
- un détecteur de fuite
- un multimètre
- un dispositif de remplissage et d'évacuation

ET 910.13
Kit de maintenance



Pour le remplissage et la vidange du système. Un kit de maintenance ET 910.13 unique peut être utilisé pour plusieurs postes de travail. Il permet également d'effectuer des opérations d'entretien et de dépannage.



Vue d'ensemble des composants modulaires

ET 910.10 Jeu de composants pour les essais de base

Voyant avec filtre/sécheur



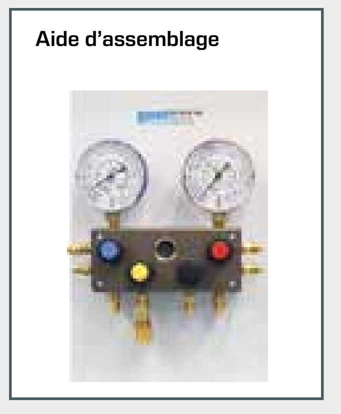
Débitmètre



Manomètre côté pression/côté aspiration



Aide d'assemblage



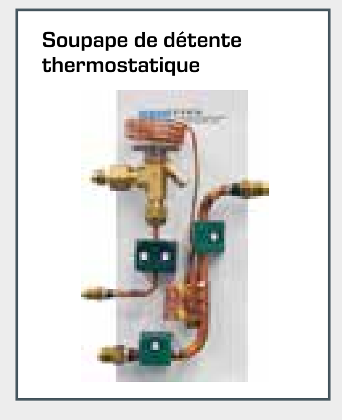
Échangeur de chaleur



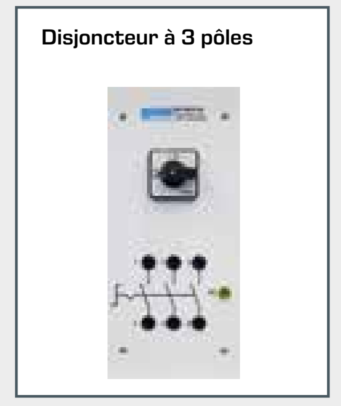
Soupape de détente régulée par pression



Soupape de détente thermostatique



Disjoncteur à 3 pôles



Thermostat électrique 1



Thermostat électrique 2



Séparateur de liquides



ET 910.12 Jeu d'accessoires

Jeu d'accessoires



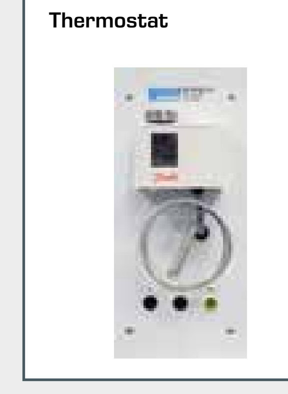
Le jeu d'accessoires ET 910.12 est nécessaire pour le raccordement hydraulique et électrique des composants entre eux et avec l'unité de base. Il contient des flexibles de l'agent réfrigérant de différentes longueurs et diamètres (en partie avec des robinets d'arrêt), un filtre pour agent réfrigérant/sécheur de remplacement, des pièces en T, des pièces d'accouplement et des câbles de laboratoire. Deux tubes capillaires de longueurs différentes, deux distributeurs et une longueur suffisante de tube isolant sont également inclus.

ET 910.11 Jeu de composants pour les essais complémentaires

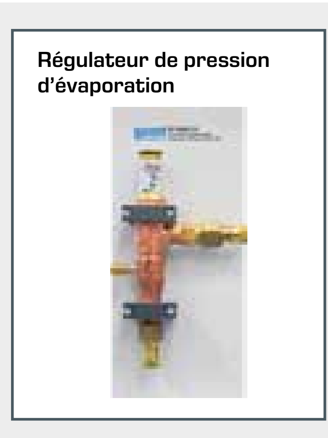
Soupape à main



Thermostat



Régulateur de pression d'évaporation



Régulateur de démarrage



Régulateur de puissance



Vanne d'inversion à 4 voies



Vanne de réinjection



Horloge de commutation de dégivrage



Régulateur de réfrigération



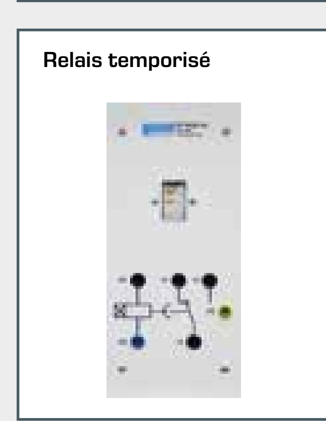
Électrovanne 1



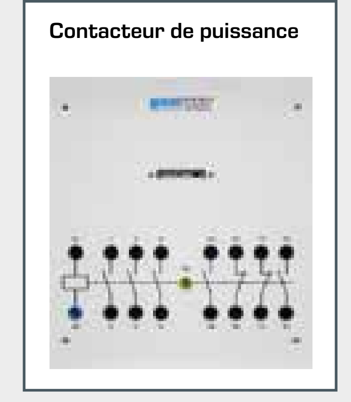
Électrovanne 2



Relais temporisé



Contacteur de puissance



Relais auxiliaire





Exemples de montages expérimentaux

Quelques montages expérimentaux intéressants sont présentés à titre d'exemples ci-après, qui peuvent être réalisés avec le système d'exercices:

- circuit frigorifique simple avec compresseur, condenseur, soupape de détente thermostatique et évaporateur
- comprendre le fonctionnement d'un régulateur de pression d'aspiration dans le circuit de l'agent réfrigérant
- procédé de dégivrage par gaz chauds avec une vanne d'inversion à quatre voies

Avant de démarrer les travaux pratiques avec le système d'exercices, les apprentis/étudiants apprennent à lire et à comprendre les diagrammes des systèmes de génie frigorifique ou les schémas de processus et les schémas de câblage simples.

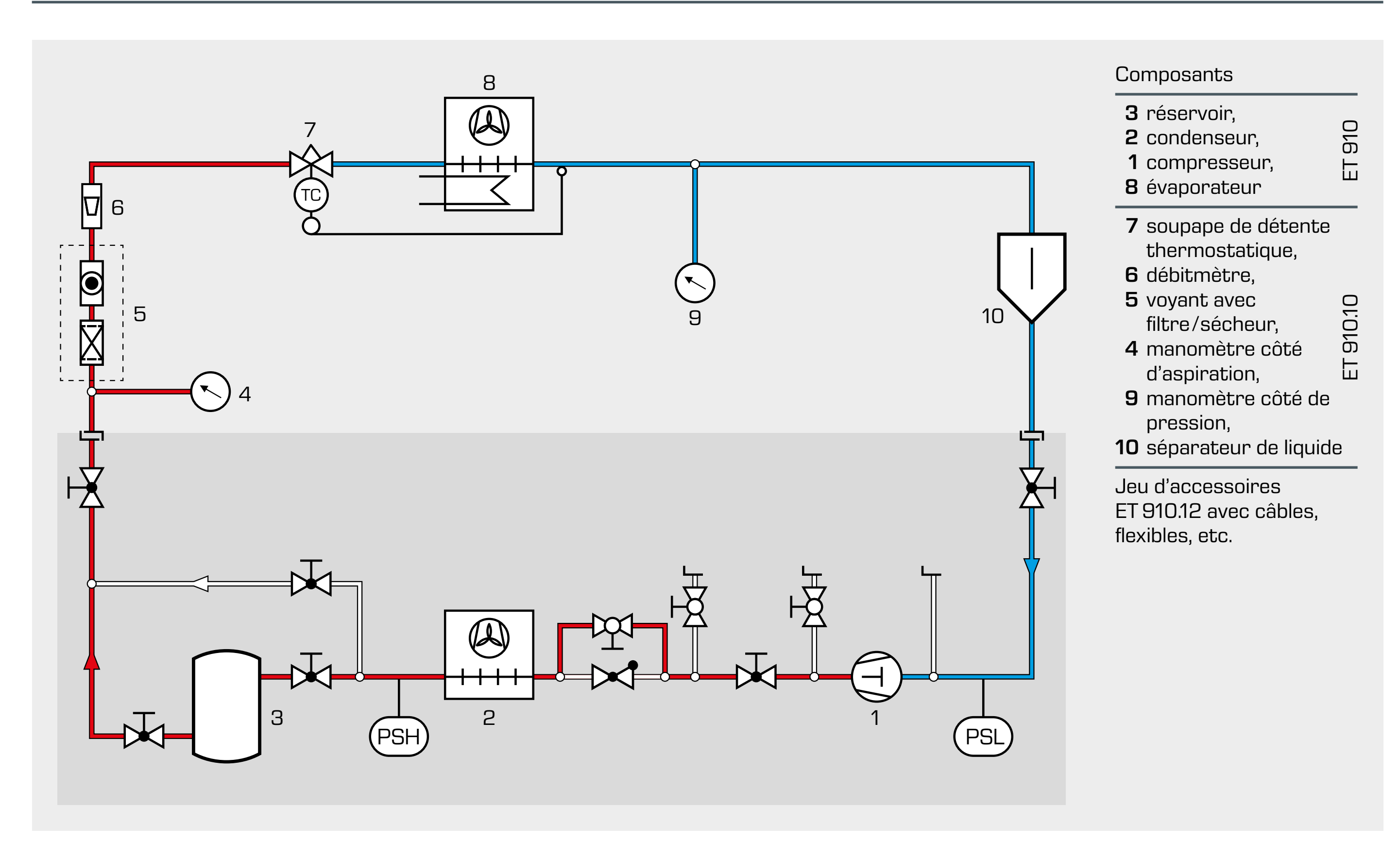
En associant les différents composants requis pour les essais, l'élève peut se familiariser avec les composants réels du génie frigorifique qui font partie des diagrammes du système.

Lors de la mise en service, des activités pratiques telles que l'évacuation, le remplissage et la vérification d'étanchéité sont effectuées. Cela permet de mettre en pratique la réglementation et les règles applicables. Au cours de l'essai final, les élèves peuvent véritablement saisir la manière dont fonctionne l'installation. Le fonctionnement est optimisé par l'ajustage des régulateurs et des éléments d'expansion. Il est possible de démontrer l'impact d'influences extérieures, comme par exemple la variation de la charge thermique sur l'évaporateur.



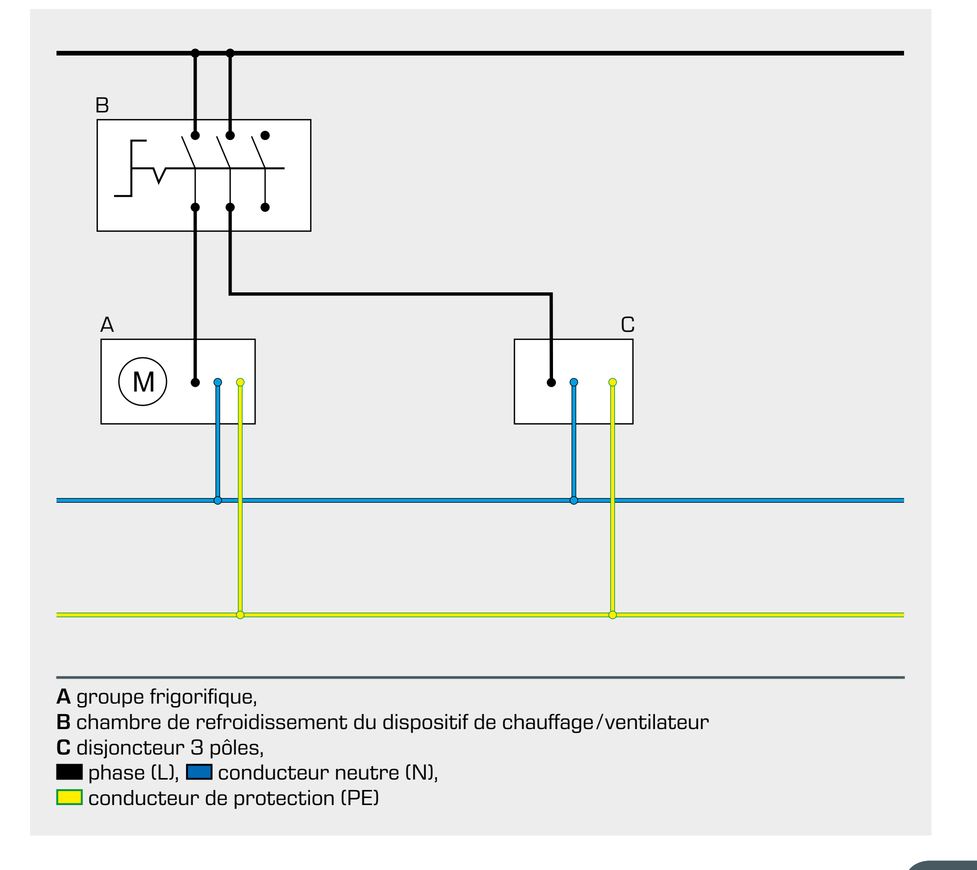
Poste de travail de laboratoire avec unité de base et composants pour essais de base

Exemple: circuit frigorifique simple avec soupape de détente thermostatique



Dans cet essai initial, un circuit frigorifique simple composé d'un groupe frigorifique (compresseur **1**, condenseur **2**, réservoir **3**), d'une chambre de refroidissement avec évaporateur **8**, d'une soupape de détente thermostatique **7** et d'un voyant avec filtre/sécheur **5** est installé.

Le comportement de régulation de la soupape de détente est observé au niveau du débitmètre **6**. Les manomètres **4** et **9** permettent d'obtenir un aperçu des rapports de pression dans le circuit. Les apprentis/étudiants se familiarisent avec les éléments et le fonctionnement du circuit frigorifique. La transformation d'état de l'agent réfrigérant peut être suivie grâce aux mesures de pression et de température et être saisie dans le diagramme log p,h. Le ressenti des températures avec la main permet de mieux comprendre les processus.

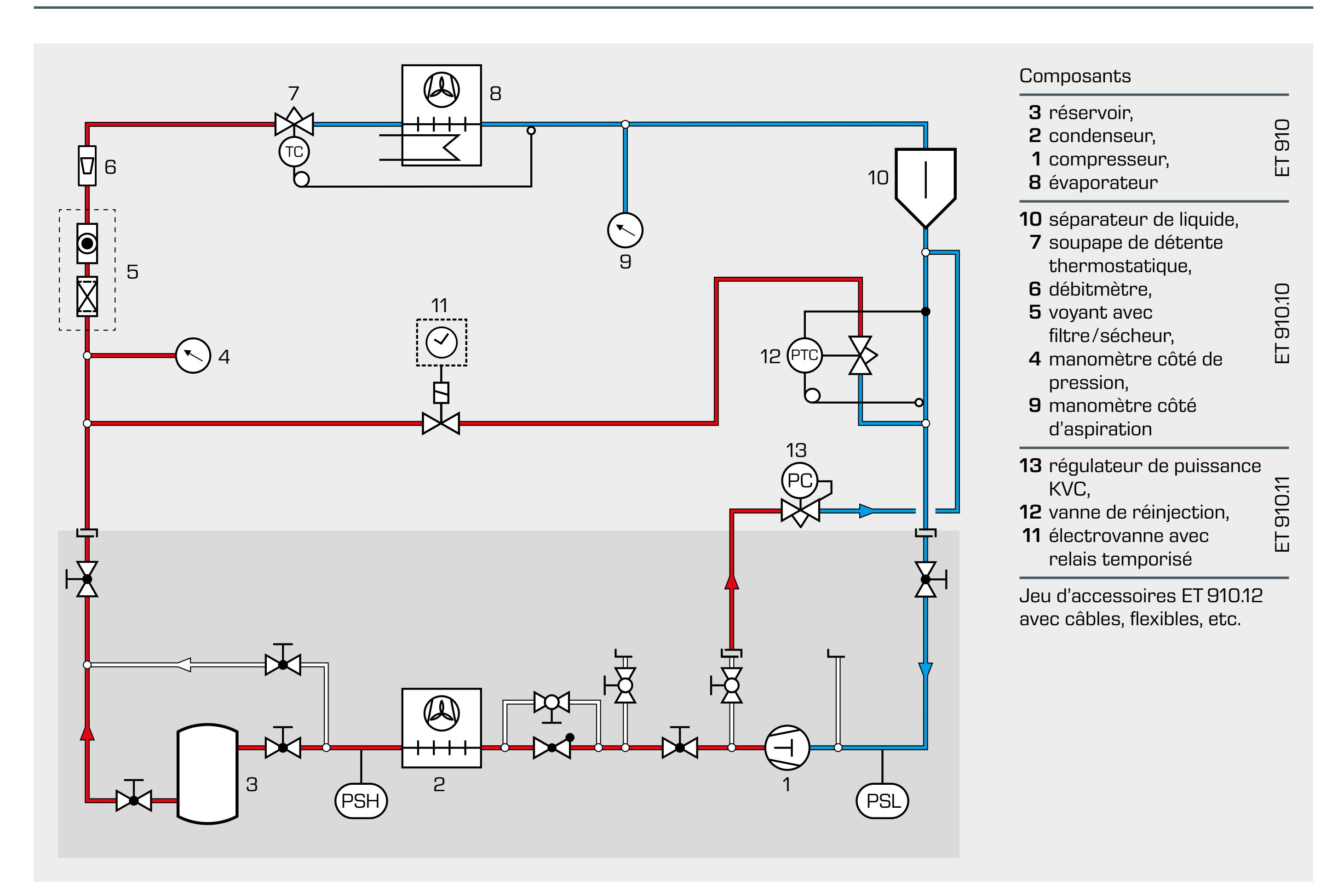


A groupe frigorifique,
B chambre de refroidissement du dispositif de chauffage/ventilateur
C disjoncteur 3 pôles,
phase (L), conducteur neutre (N),
conducteur de protection (PE)

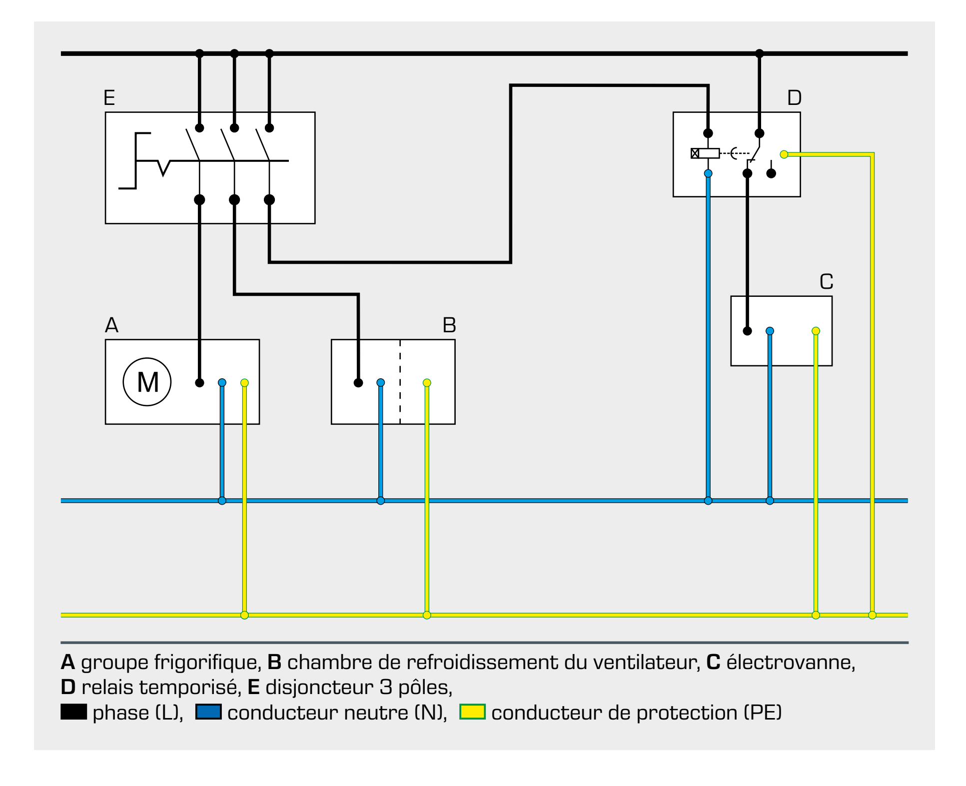


Exemples de montages expérimentaux

Exemple: régulation de puissance avec réinjection

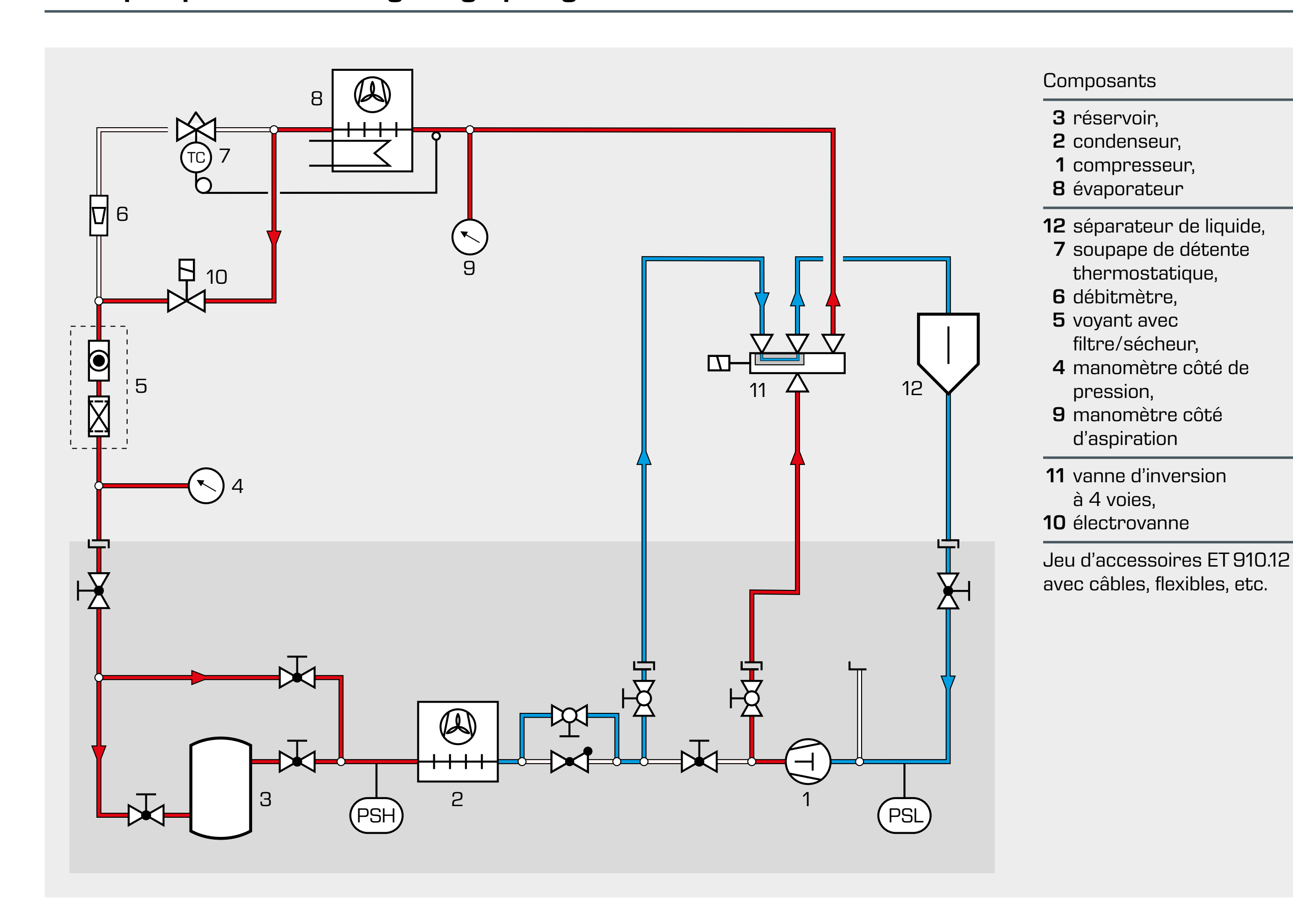


Cet essai montre un type de régulation de puissance sur les installations de grande taille. Alors que la puissance des petites installations est généralement commandée par le fonctionnement marche/arrêt du compresseur, un régulateur de puissance KVC **13** est utilisé sur les grandes installations. Le KVC permet un refoulement partiel du gaz comprimé vers le côté aspiration lorsque la différence de pression entre le côté de pression et le côté d'aspiration du compresseur est trop importante. Cela permet de réduire le débit massique réel d'agent réfrigérant. Pour éviter ici toute surchauffe du compresseur, une petite quantité d'agent réfrigérant liquide est injectée directement dans la conduite d'aspiration via la vanne de réinjection **12**. L'agent réfrigérant s'évapore immédiatement et refroidit ainsi le gaz aspiré. La réinjection peut être volontairement désactivée au moyen de l'électrovanne **11**, ce qui permet d'observer immédiatement l'effet que cela produit.



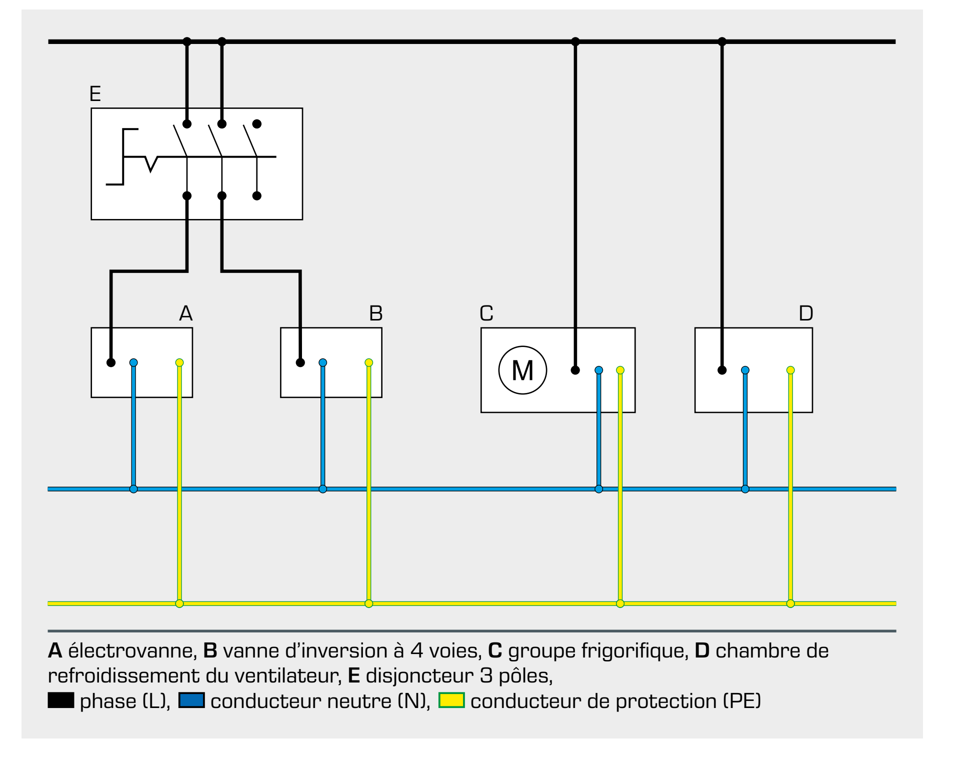
A groupe frigorifique, **B** chambre de refroidissement du ventilateur, **C** électrovanne, **D** relais temporisé, **E** disjoncteur 3 pôles,
phase (L), conducteur neutre (N), conducteur de protection (PE)

Exemple: procédé de dégivrage par gaz chauds avec une vanne d'inversion à 4 voies



Lorsque la température de l'évaporateur est inférieure à 0°C, par exemple dans les installations de congélation, l'air est refroidi en dessous de sa température de point de rosée, ce qui provoque la fuite de condensat et son gel à la surface de l'évaporateur. Cette couche de glace entrave le transfert de chaleur convectif et réduit la surface de transfert de chaleur. En plus de l'option de chauffage de dégivrage temporisé, l'ET 910 offre également la possibilité d'un dégivrage par gaz chauds.

La fonction de l'évaporateur **8** et celle du condenseur **2** sont permutées au moyen d'une vanne d'inversion à 4 voies **11**, ce qui inverse le sens d'écoulement de l'agent réfrigérant. L'évaporateur gelé reçoit à présent le gaz chaud directement de la sortie du compresseur et dégivre de manière très efficace.



A électrovanne, **B** vanne d'inversion à 4 voies, **C** groupe frigorifique, **D** chambre de refroidissement du ventilateur, **E** disjoncteur 3 pôles,
phase (L), conducteur neutre (N), conducteur de protection (PE)



Résultats des essais

Tableau des valeurs mesurées essai 2			
Mesure	1	2	3
Observation			
Pression d'évaporation p, en bar	1.5	1.9	2.1
Pression de condensation, valeur absolue p, en bar	2.5	2.9	3.1
Température d'évaporation en °C (relevée sur le manomètre)	-4.0	0.0	2.0
Pression de condensation p, en bar	7.5	7.2	6.7
Pression de condensation, valeur absolue p, en bar	8.5	8.2	7.7
Température de condensation en °C (relevée sur le manomètre)	33.5	32.0	30.0
Température T, en °C sortie compresseur	45.6	42.3	43.0
Température T, en °C devant la valve d'expansion	24.8	24.0	22.5
Température T, en °C entrée évaporateur	-2.5	0.5	1.0
Température T, en °C sortie évaporateur	-1.2	2.5	5.0
Température T, en °C entrée compresseur	0.4	6.0	8.8
Débit massique d'agent réfrigérant en kg/h	23	28	30

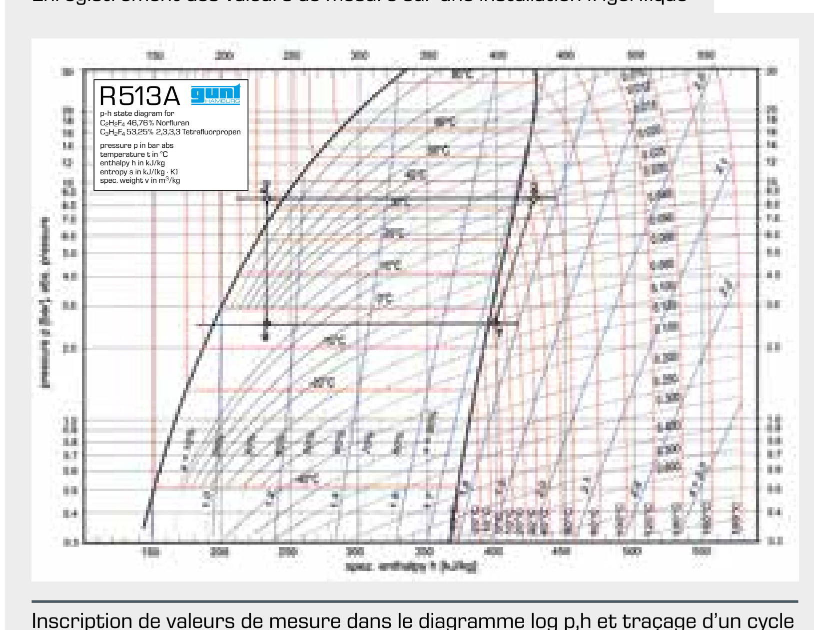
Enregistrement des valeurs de mesure sur une installation frigorifique

En mesurant les pressions et les températures, le fonctionnement des différents composants du circuit frigorifique peut être examiné en détail.

Le fait d'observer les transformations d'état provoquées par les composants que l'on a soi-même positionnés, permet d'assimiler de manière durable le principe de fonctionnement des composants du génie frigorifique. En plus de l'exercice pratique consistant à effectuer correctement une mesure de température (position de mesure correcte et bon contact du capteur avec la conduite) ou à lire dans les règles de l'art des valeurs sur un manomètre, la question de l'état stationnaire de l'installation est également traitée.

En reportant les valeurs de mesure dans le diagramme log p,h, on peut représenter le cycle graphiquement. Le diagramme log p,h, qui est essentiel en génie frigorifique, permet de bien comprendre le principe de fonctionnement des principaux composants et d'en discuter de manière approfondie.

La notion abstraite d'enthalpie est illustrée à l'aide d'un bilan des flux énergétiques échangés. Le diagramme log p,h permet également d'expliquer des propriétés fondamentales des mélanges de phases, de la condensation et de l'évaporation.



Inscription de valeurs de mesure dans le diagramme log p,h et traçage d'un cycle

Calculs essai 2			
Mesure	1	2	3
Enthalpies (lecture sur le diagramme log p,h)			
h en kJ/kg	398	402	405
h en kJ/kg	428	426	428
h en kJ/kg	233	229	228
h en kJ/kg	233	229	228
Différences d'enthalpies			
h − h en kJ/kg	165	173	176
h − h en kJ/kg	195	197	200
Débit massique m en kg/h	23	28	30
Calcul de la puissance			
Puissance des compresseurs en kW	1.059	1.345	1.466
Puissance de condensation en kW	1.245	1.532	1.666
Coefficient de performance théorique			
	5.49	7.18	7.33

Calcul des flux énergétiques et détermination du coefficient de performance

Les flux énergétiques peuvent être déterminés par des calculs thermodynamiques simples. Le calcul du coefficient de performance permet de se prononcer sur l'efficacité de l'installation construite; il peut être modifié de manière ciblée en utilisant différents composants. De plus, l'influence des charges thermiques ou du rapport de pression sur le coefficient de performance est illustrée de manière très claire.

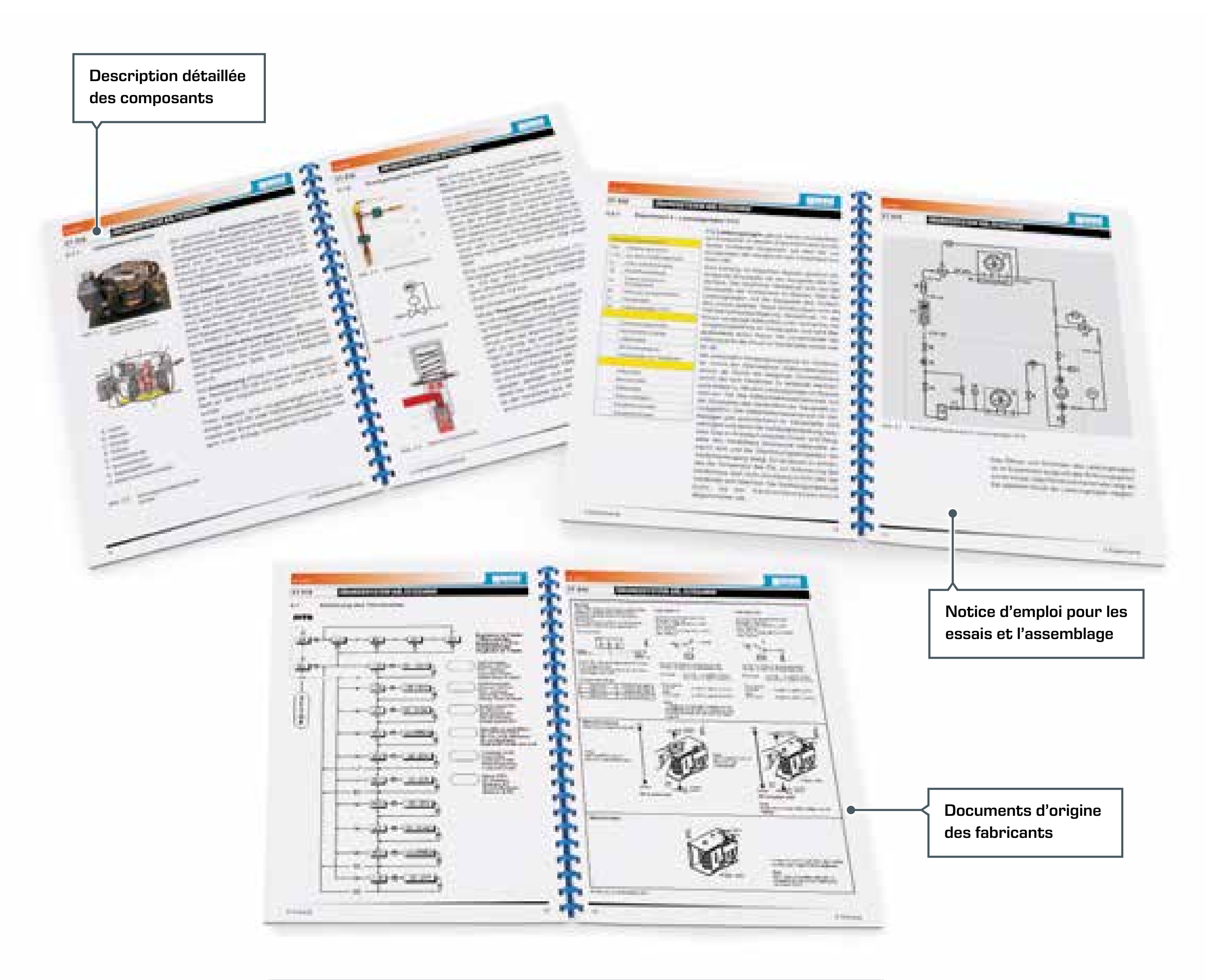
La documentation didactique

Pour le système ET 910, nous avons développé un matériel d'accompagnement exhaustif. Celui-ci va vous faciliter l'utilisation du système dans le cadre des cours.

D'une manière plus détaillée, la documentation didactique se compose:

- d'une description exhaustive du système ET 910
- de notices d'emploi détaillées
- d'une description détaillée de l'assemblage et de la fonction des composants utilisés
- d'indications d'assemblage avec un schéma fonctionnel du système, d'un schéma de connexion électrique et d'une liste de pièces
- de fiches de travail avec une instruction pour les essais, destinés aux élèves
- de documents d'origine des fabricants et d'instructions d'assemblage pour les principaux composants

Des matériaux sous forme de sortie papier et également sous forme de fichiers PDF.



Avec l'achat du système d'apprentissage ET 910 vous obtenez une documentation et du matériel d'apprentissage de premier plan



ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique

L'unité de base ET 915, système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique, propose des essais de base pour les différents domaines du génie frigorifique et du génie climatique.

HSI correspond à notre concept didactique global: **H**ardware – **S**oftware – **I**ntegrated.

Génie frigorifique

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



Génie climatique

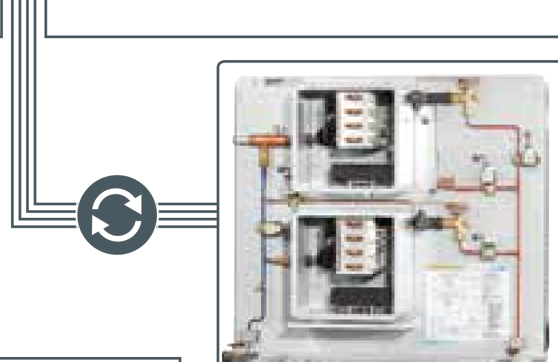
ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple



ET 915.07
Modèle de climatisation



Tous les articles comprennent des éléments d'expansion et des évaporateurs



L'unité de base ET 915 comprend les composants principaux que sont le compresseur et le condenseur

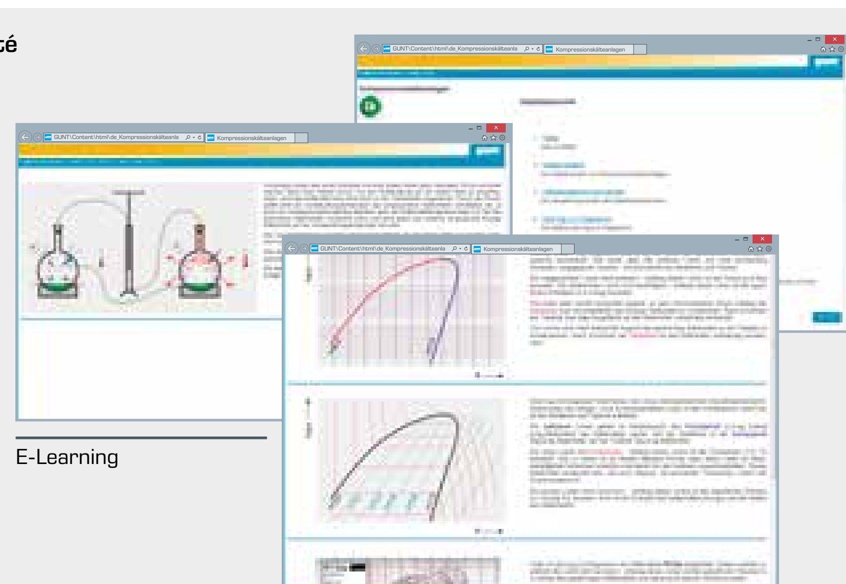


Système modulaire offrant de nombreuses possibilités didactiques

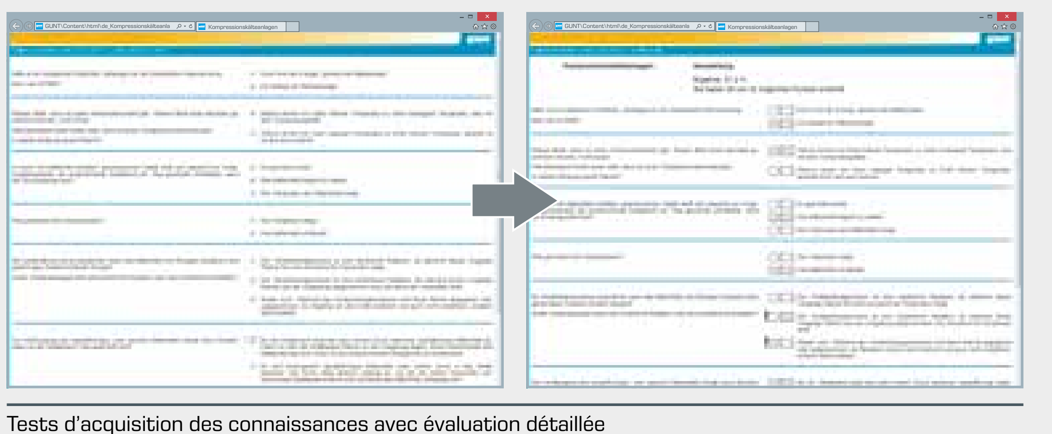
Logiciel d'apprentissage

...avec un enseignement didactique de qualité

- utilisation du logiciel d'apprentissage sur le PC personnel de l'élève ou de l'étudiant
- cours complet de génie frigorifique et climatique, avec tests d'acquisition des connaissances
- grande flexibilité grâce à la mise en place de modules d'apprentissage et de tests personnalisés
- interface intuitive



E-Learning



Tests d'acquisition des connaissances avec évaluation détaillée

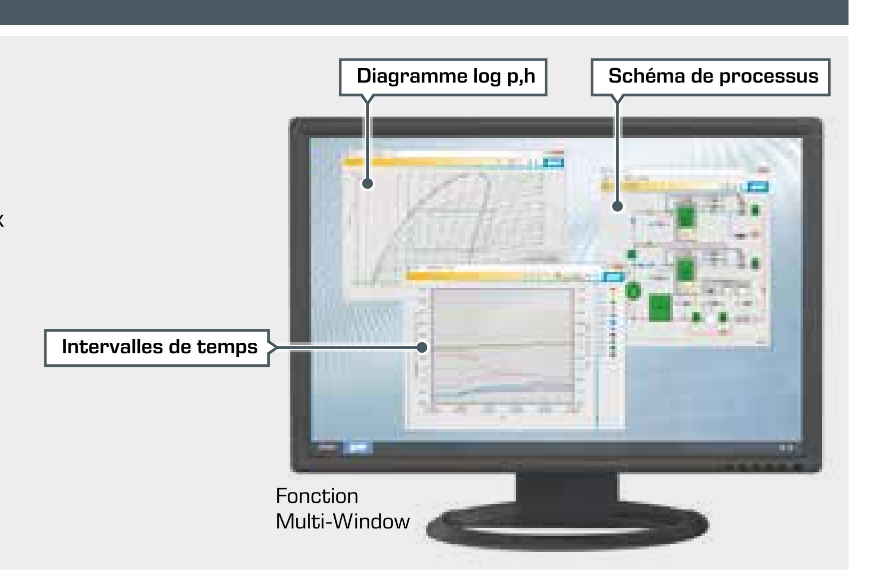
Contrôle ciblé des contenus enseignés

- suivi discret et automatique de la progression des acquis
- identification des lacunes et soutien ciblé

Acquisition de données

...avec capacité de mise en réseau illimitée

- essais interactifs pour les élèves et les étudiants via une connexion réseau
- représentation en temps réel des processus dans le diagramme log p,h et le diagramme h,x
- système Plug & Play via connexion USB



ET 915

Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



Description

- **unité de base pour la construction d'essais de base en génie frigorifique et climatique**
- **environnement d'apprentissage moderne par Hardware/Software Integration (HSI)**
- **quatre modèles pour le génie frigorifique et climatique**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

L'unité de base ET 915 est complétée pour devenir un circuit frigorifique complet selon l'objectif de l'essai avec un des modèles suivants qui peuvent être livrés comme accessoires: ET 915.01 Modèle réfrigérateur, ET 915.02 Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation, ET 915.06 Modèle d'installation de climatisation simple, ET 915.07 Modèle de climatisation.

Les composants principaux du ET 915 sont le compresseur, le condenseur et le réservoir, ainsi que le système électrique et de communication. Les modèles sont posés sur l'unité de base, et connectés entre eux hydrauliquement et électriquement par des flexibles d'agent réfrigérant. Les accouplements auto-étanches réduisent la perte d'agent réfrigérant au minimum. Tous les composants sont disposés de manière bien visible de sorte qu'il soit possible de bien suivre la fonction.

Le logiciel moderne et très performant fait partie intégrante du système d'exercice sous forme de l'intégration matériel / logiciel (hardware / software integration; HSI). Il permet une exécution et une évaluation confortables des essais. La liaison entre l'appareil d'essai et le PC se fait par une interface USB.

Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Pour chaque modèle, il y a un logiciel GUNT adapté à son contenu didactique. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. L'influence des modifications des paramètres peut être suivie online sur les diagrammes log p,h et h,x. L'installation est commandée par le logiciel de la même manière.

Contenu didactique/essais

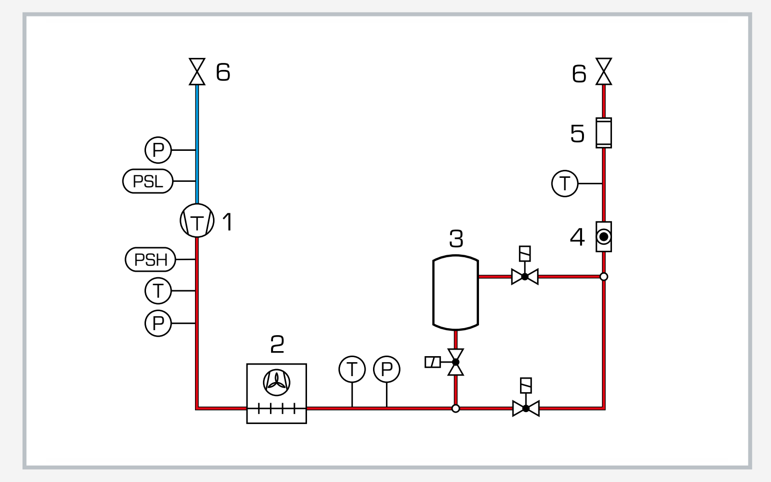
- en combinaison avec le ET 915.01, ET 915.02, ET 915.06 et ET 915.07
  - bases du cycle frigorifique
  - bases de la climatisation de l'air
  - composants d'une installation frigorifique/de climatisation
  - commande de l'installation
  - recherche de pannes

ET 915

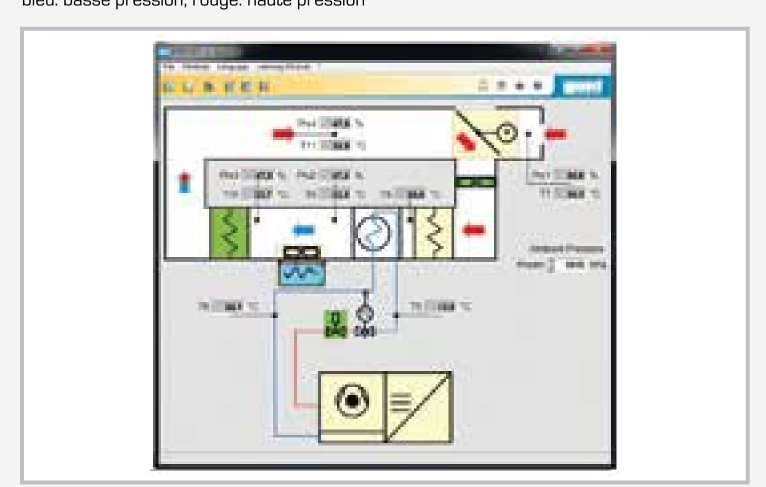
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



1 compresseur, 2 condenseur avec ventilateur enclenchable, 3 réservoir, 4 électrovanne, 5 cadre pour accueil du modèle, 6 filtre/sécheur, 7 manomètre, 8 pressostat, 9 flexible d'agent réfrigérant



1 compresseur, 2 condenseur, 3 réservoir, 4 voyant, 5 filtre/sécheur, 6 flexible d'agent réfrigérant pour les modèles;
PSH, PSL pressostat; T température, P pression;
bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus du modèle ET 915.07. Les valeurs de mesure sont affichées "online".

Spécification

[1] essais de base de fonctionnement des installations frigorifiques et de climatisation par la combinaison de l'unité de base et de modèles
[2] système d'exercices GUNT avec technologie HSI
[3] groupe frigorifique se composant d'un compresseur, d'un condenseur et d'un réservoir
[4] liaison entre le groupe frigorifique et le modèle par les flexibles d'agent réfrigérant
[5] modèle fixé de manière sûre à l'ET 915 à l'aide de fermetures à genouillère
[6] manomètre pour l'agent réfrigérant avec échelle de température
[7] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631
[9] commande de l'installation par électrovannes et logiciel
[10] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 463W à 7,2/54,4°C
- puissance absorbée: 288W à 7,2/54,4°C

Réservoir: 0,7L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 700g
- équivalent CO_2: 0,4t

Plages de mesure
- température: 1x -50...50°C, 3x 0...100°C
- pression:
  - 1x côté aspiration: -1...9bar
  - 2x côté pression: -1...15bar
- débit: 0...19kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 830x650x320mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 groupe frigorifique, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 documentation didactique

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



Description

- **modèle simple de réfrigérateur domestique pour un raccordement à l'ET 915**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.01 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel de réfrigérateur domestique est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet.

L'ET 915.01 se compose d'une chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage comme charge de refroidissement, évaporateur, ventilateur et différents éléments d'expansion. Le ventilateur permet d'atteindre et de soutenir une répartition uniforme de température dans les chambres. De plus, une charge de refroidissement peut être simulée avec le dispositif de chauffage. Les électrovannes permettent le fonctionnement de l'installation avec un tube capillaire ou une soupape de détente. Tous les composants sont disposés de manière visible sur un panneau.

La commande de composants individuels de l'installation, ici la régulation de la température, du ventilateur, du dispositif de chauffage, du compresseur et des électrovannes, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par des capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel. L'influence des modifications de paramètres peut être suivie en ligne sur le diagramme log p,h.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.01. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique simple
- faire connaissance avec les différents éléments d'expansion
  - fonctionnement avec tube capillaire
  - fonctionnement avec soupape de détente
- comportement en service sous charge
- cycle frigorifique sur le diagramme log p,h
- simulation de pannes

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



1 évaporateur, 2 ventilateur, 3 chambre de refroidissement, 4 dispositif de chauffage, 5 raccords à l'ET 915, 6 schéma de processus, 7 électrovanne, 8 tube capillaire, 9 soupape de détente

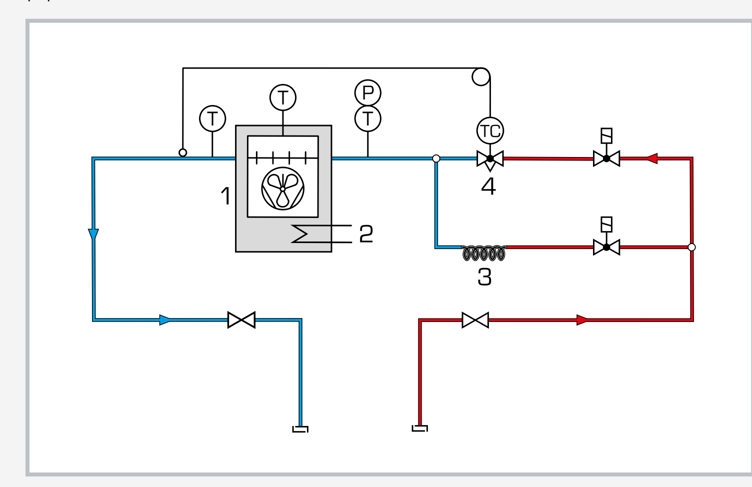
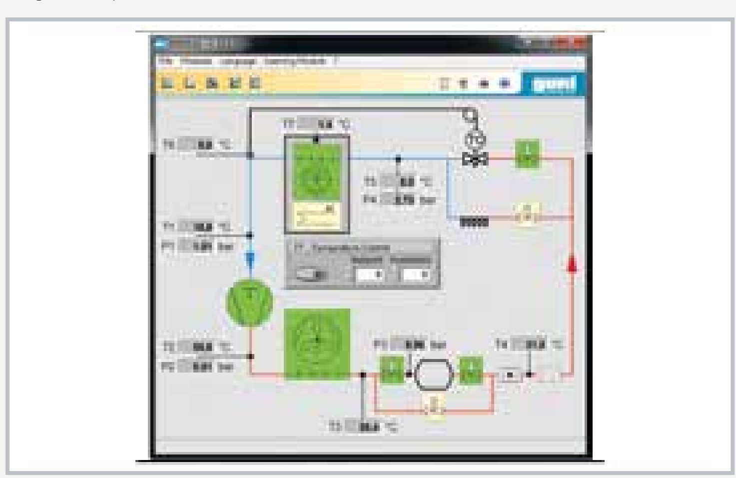


Schéma de processus du modèle de réfrigérateur: 1 évaporateur, 2 dispositif de chauffage, 3 tube capillaire, 4 soupape de détente; T température, P pression; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'un réfrigérateur à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] chambre de refroidissement avec évaporateur, ventilateur et charge de refroidissement
[4] chambre avec front transparent
[5] dispositif de chauffage électrique pour la production d'une charge de refroidissement
[6] éléments d'expansion pouvant être sélectionnés par électrovannes: soupape de détente ou tube capillaire
[7] capteur d'acquisition de température et de pression
[8] commande des électrovannes, du ventilateur, du dispositif de chauffage et simulation des pannes par le logiciel
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Chambre de refroidissement, Lxlxh: 270x270x220mm

Dispositif de chauffage électrique PTC comme charge de refroidissement: 210W

Tube capillaire: longueur 2m

Plages de mesure
- température: 3x -50...50°C
- pression: -1...9bar

Lxlxh: 850x380x550mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 modèle de réfrigérateur, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB

ET 915.02

Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



L'illustration montre un appareil similaire

Description

- **montage en série et en parallèle d'évaporateurs**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.02 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel d'installation frigorifique fonctionnel avec niveaux de réfrigération normale et de congélation est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet.

Il est préférable de monter les évaporateurs en parallèle dans les combinaisons de refroidissement et de congélation. Les évaporateurs seront montés en série si l'on désire augmenter la puissance frigorifique. Il est possible d'atteindre différents domaines de température pour geler ou congeler, grâce à des niveaux différents de pression dans les évaporateurs.

L'ET 915.02 contient deux chambres de refroidissement séparées avec évaporateur et éléments d'expansion. Les évaporateurs peuvent être utilisés au choix en montage en série ou en parallèle. Deux ventilateurs font office de soutien pour atteindre une répartition uniforme de la température. Il est possible de simuler des charges de refroidissement avec les dispositifs de chauffage. Une des chambres de refroidissement peut être utilisée au choix avec une soupape de détente ou un tube capillaire comme élément d'expansion. Les différents modes de fonctionnement peuvent être ajustés par des électrovannes. Un régulateur de pression d'évaporation permet un ajustage indépendant du niveau de température dans la chambre haute en cas de montage en parallèle. Tous les composants sont disposés de manière visible sur le panneau.

La commande des composants individuels de l'installation, ici la régulation de température, le ventilateur, le dispositif de chauffage, le compresseur et l'électrovanne, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par des capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel. L'influence des modifications des paramètres peut être suivie en ligne sur le diagramme log p,h.

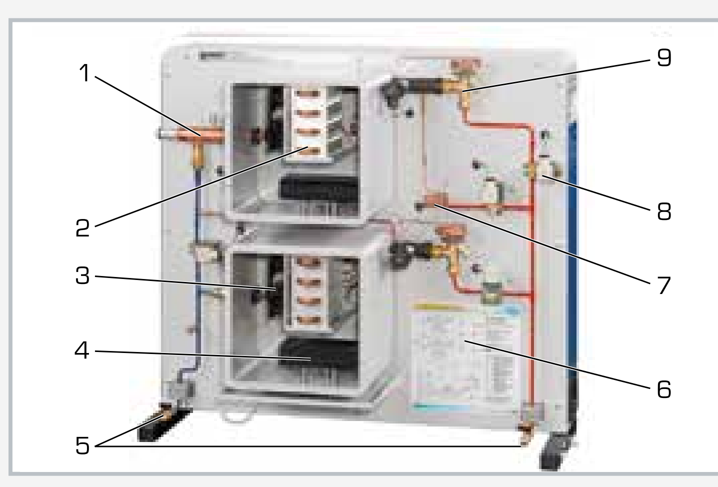
Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.02. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

Contenu didactique/essais

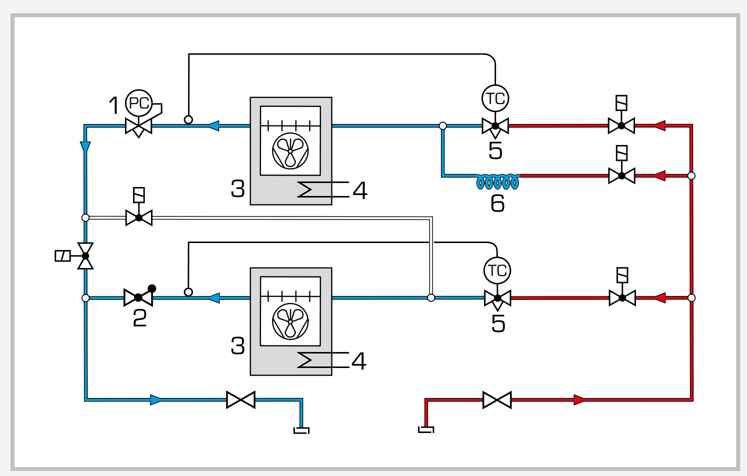
- structure et fonction d'une installation frigorifique à deux évaporateurs
- montage en série et en parallèle de 2 évaporateurs
- faire connaissance avec les différents éléments d'expansion
  - fonctionnement avec tube capillaire
  - fonctionnement avec soupape de détente
- comportement en service sous charge
- cycle frigorifique sur le diagramme log p,h
- influence de la pression d'évaporation
- simulation de pannes

ET 915.02

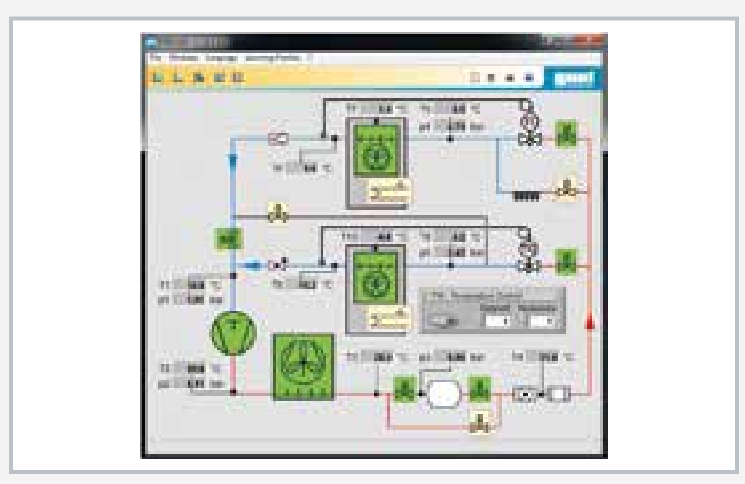
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation



1 régulateur de pression d'évaporation, 2 évaporateur, 3 ventilateur, 4 dispositif de chauffage, 5 raccords à l'ET 915, 6 schéma de processus, 7 tube capillaire, 8 électrovanne, 9 soupape de détente



Modèle d'installation frigorifique, évaporateurs montés en parallèle:
1 régulateur de pression d'évaporation, 2 soupape de retenue, 3 évaporateur, 4 dispositif de chauffage, 5 soupape de détente, 6 tube capillaire;
T température, P pression; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'une installation frigorifique à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] chaque chambre de refroidissement contient: évaporateur avec ventilateur (pour la circulation de l'air) et dispositif de chauffage pour production d'une charge de refroidissement
[4] chambre de refroidissement avec front transparent
[5] régulateur de pression d'évaporation ajustable
[6] élément d'expansion au choix: soupape de détente ou tube capillaire
[7] modes de fonctionnement de l'installation configurable par 5 électrovannes
[8] capteur d'acquisition de température et de pression
[9] commande des électrovannes, du ventilateur, du dispositif de chauffage et simulation de pannes par le logiciel
[10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[11] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Chambre de refroidissement
Lxlxh: 270x270x220mm

Dispositif de chauffage électrique PTC comme charge de refroidissement: 210W

Tube capillaire: longueur 2m

Régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar

Plages de mesure
- température: 6x ±50°C
- pression: 2x -1...9bar

Lxlxh: 850x380x750mm
Poids: env. 45kg

Liste de livraison

1 modèle d'installation frigorifique, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB



2 Thermodynamique du cycle frigorifique

Connaissances de base

Cycle frigorifique

Le cycle frigorifique peut être décrit comme étant une suite de transformations d'état d'un agent réfrigérant. Cette suite de changements s'effectue de manière périodique, avec un retour incessant à l'état initial (cycle). Ce qui est important en génie frigorifique, ce sont les variables d'état telles que la pression, la température et la densité, ainsi que leur interdépendance.

Les procédés thermodynamiques du cycle frigorifique sont complexes. Étant donné les trois états possibles de l'agent réfrigérant (liquide, bouillant et gazeux), les calculs au moyen de formules et tableaux nécessitent beaucoup de travail. C'est pourquoi on a introduit le diagramme log p,h, dans un souci de simplification.

Ce diagramme log p,h permet en effet de représenter graphiquement les différentes variables d'état en fonction de leurs dépendances. Pour chaque point d'état, les variables d'état thermodynamiques peuvent être lues directement, et sont ainsi disponibles pour des calculs complémentaires. Les quantités de chaleur, le travail technique ou les différentiels de pression d'une transformation d'état sont indiqués sous forme de lignes mesurables. L'utilisation du diagramme log p,h simplifie considérablement les calculs thermodynamiques, et elle est incontournable pour comprendre le fonctionnement des installations frigorifiques.

De ce fait, notre logiciel pour appareils frigorifiques offre une représentation en temps réel de chaque diagramme log p,h. Toutes les modifications des paramètres de fonctionnement sont directement visibles sur le diagramme; cela permet de bien appréhender la formation des états thermodynamiques, qui seraient sinon observés uniquement d'un point de vue statique.

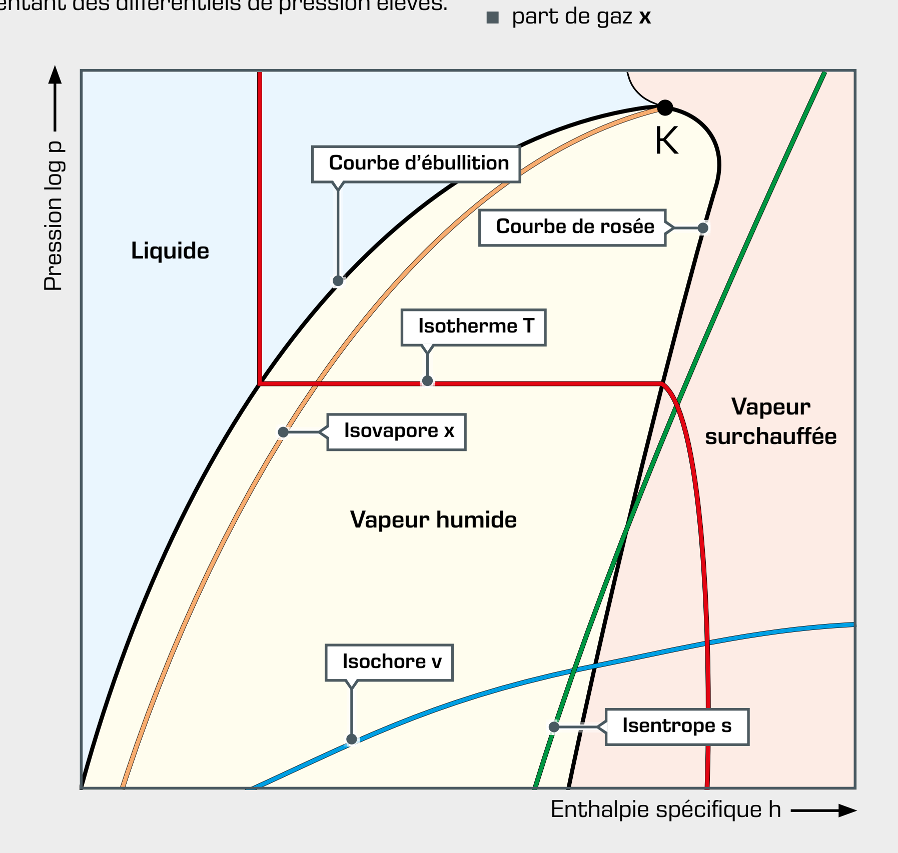
De manière générale, un diagramme log p,h montre l'état physique d'une matière en fonction de la pression et de la chaleur. En génie frigorifique, le diagramme est réduit aux zones requises qui correspondent aux états **liquides** et **gazeux** ainsi qu'au **mélange des deux**.

L'axe vertical représente la pression de manière logarithmique, et l'axe horizontal représente l'enthalpie spécifique avec mise à l'échelle linéaire. En conséquence, les isobares ont un tracé horizontal et les isenthalpes un tracé vertical. La mise à l'échelle logarithmique permet la représentation de processus présentant des différentiels de pression élevés.

Au point critique **K**, les courbes de condensation et d'ébullition se rejoignent.

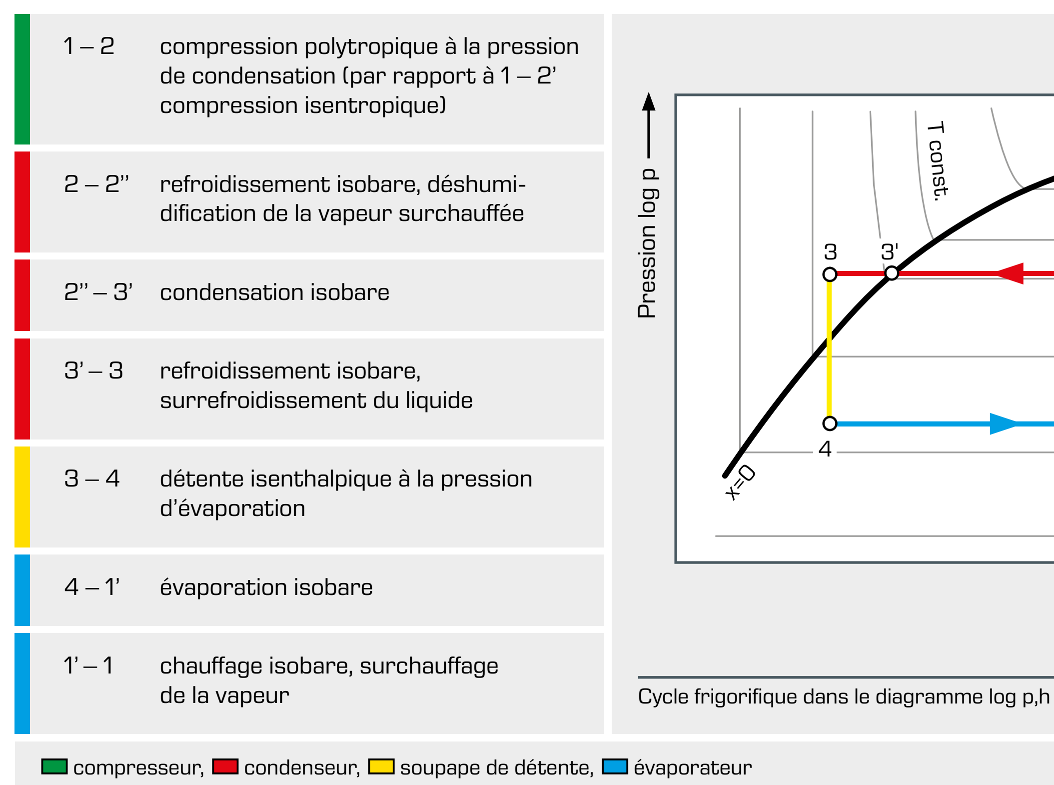
Les variables d'état thermodynamiques à chaque phase peuvent être lues sur le diagramme log p,h.

- pression **p**
- enthalpie spécifique **h**
- température **T**
- volume spécifique **v**
- entropie spécifique **s**
- part de gaz **x**

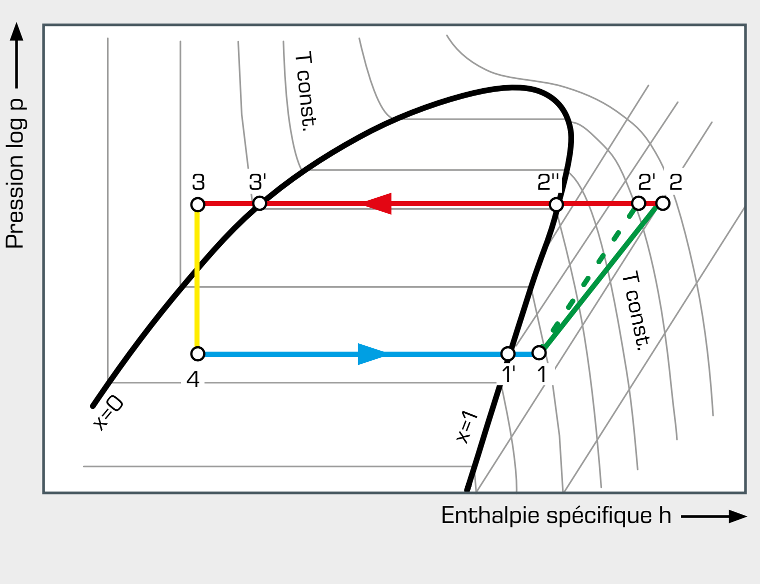


Le cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La particularité du cycle frigorifique est qu'il fonctionne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire à l'opposé de celui du cycle de Brayton ou du cycle de vapeur. Une transformation d'état se produit lorsque l'agent réfrigérant traverse l'un des quatre composants principaux de l'installation frigorifique. Le cycle frigorifique réel se compose des transformations d'état suivantes:



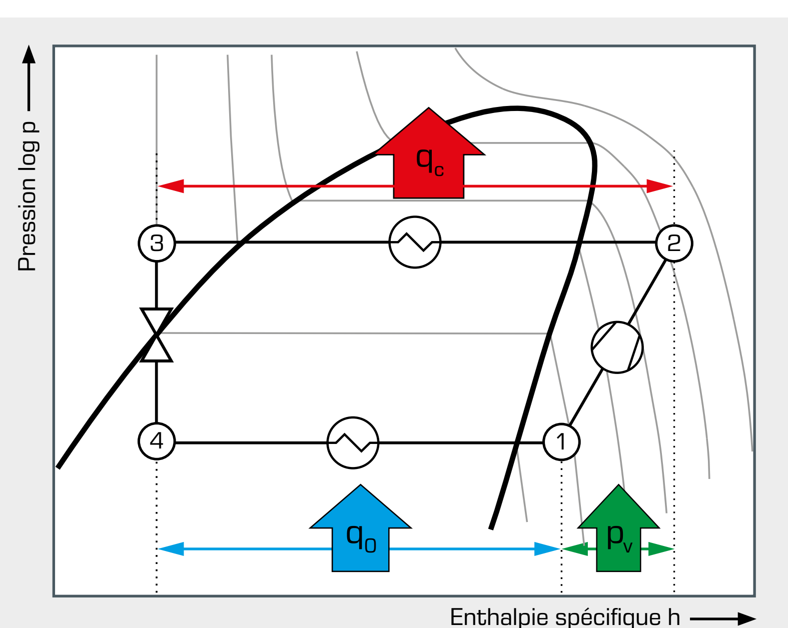
1 – 2	compression polytropique à la pression de condensation (par rapport à 1 – 2' compression isentropique)
2 – 2''	refroidissement isobare, déshumidification de la vapeur surchauffée
2'' – 3'	condensation isobare
3' – 3	refroidissement isobare, surrefroidissement du liquide
3 – 4	détente isenthalpique à la pression d'évaporation
4 – 1'	évaporation isobare
1' – 1	chauffage isobare, surchauffage de la vapeur



Cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

compresseur, condenseur, soupape de détente, évaporateur

En outre, des pertes de charge se produisent également dans le cycle frigorifique réel, de sorte que l'évaporation et la condensation ont un tracé qui n'est pas tout à fait horizontal (isobare).



Les **quantités d'énergie spécifiques** absorbées et libérées pour atteindre les points d'état sont représentées sous la forme de lignes dans le diagramme log p,h. L'enthalpie spécifique **h** peut être lue pour chaque point d'état directement sur le diagramme log p,h.

Lorsque le débit massique de l'agent réfrigérant est connu, la **puissance thermique** correspondante peut être calculée à l'aide de l'enthalpie spécifique à chaque point d'état.

- La ligne $h_1 - h_4 = q_0$ correspond au refroidissement et permet, par une multiplication avec le débit massique, d'obtenir la **puissance frigorifique**.
- La ligne $h_2 - h_1 = p_v$ correspond au travail technique du compresseur qui est réellement transféré à l'agent réfrigérant.
- La ligne $h_2 - h_3 = q_c$ correspond à la chaleur émise et donne la **puissance du condenseur** lorsqu'on la multiplie par le débit massique. Il s'agit de la chaleur perdue d'une installation frigorifique.

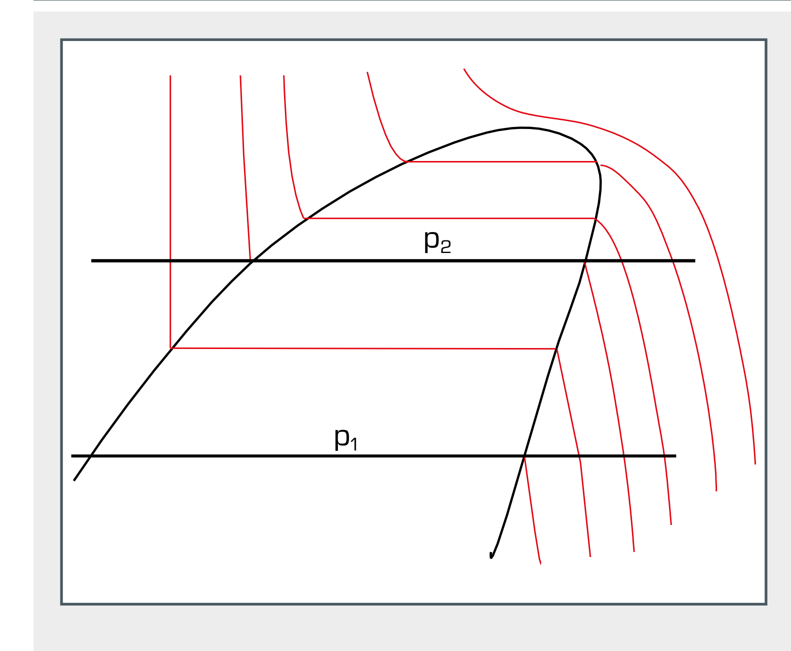
Connaissances de base

Représentation d'un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La digression sert à comprendre la relation fonctionnelle entre les composantes de l'installation frigorifique et les processus thermodynamiques. Les variables d'état suivantes sont nécessaires pour représenter un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h:

- p_1 pression d'évaporation
- p_2 pression de condensation
- T_1 température à l'entrée du compresseur
- T_2 température à l'entrée du condenseur
- T_3 température à la sortie du condenseur

1re étape: inscrire les isobares de délimitation

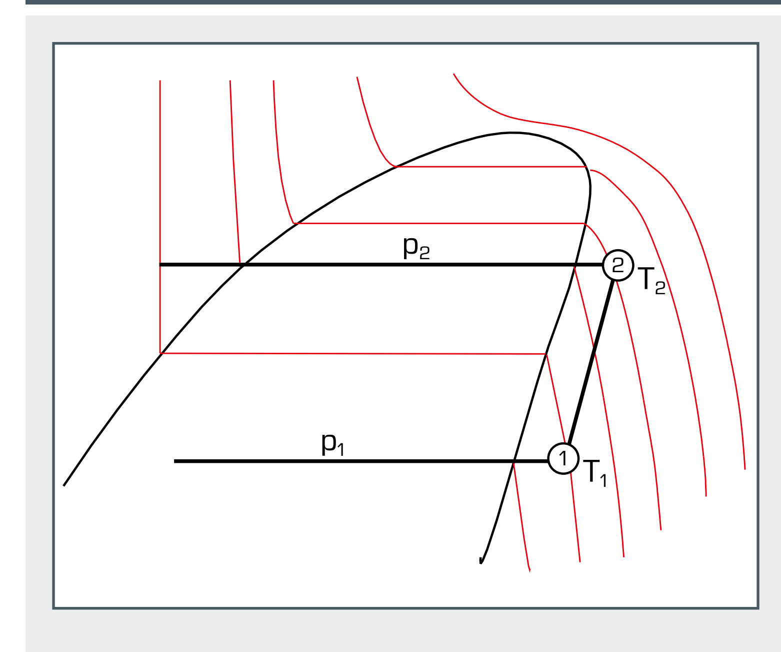


Il faut commencer par inscrire les transformations d'état isobares dans le diagramme.

- p_1 pression d'évaporation
- p_2 pression de condensation

Ici, il est important d'inscrire les pressions absolues dans le diagramme.

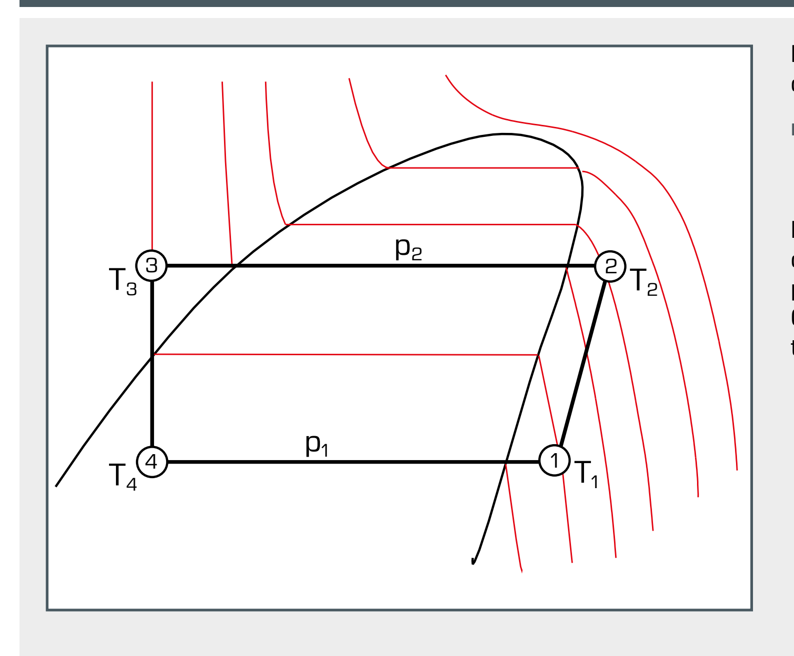
2e étape: inscrire le cycle de compression



Une fois que les isobares de limitation sont inscrits dans le diagramme, il est possible d'y inscrire le cycle de compression.

- en marquant l'intersection des isobares p_1 avec la température à l'entrée du compresseur T_1, on obtient le point d'état **1**.
- en marquant l'intersection des isobares p_2 avec la température à l'entrée du condenseur T_2, on obtient le point d'état **2**.
- la liaison entre les deux points d'état **1** et **2** décrit le cycle de compression.

3e étape: inscrire la détente isenthalpique

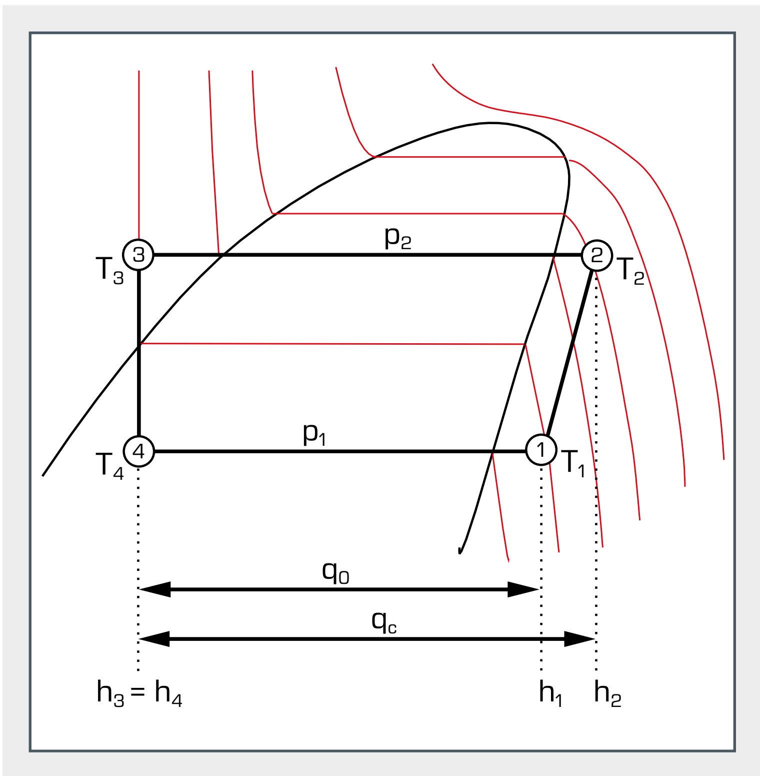


Le cycle de détente s'inscrit de la manière suivante dans le diagramme:

- en marquant l'intersection des isobares p_2 avec la température à la sortie du condenseur T_3, on obtient le point d'état **3**.

La détente est un processus isenthalpique. Par conséquent, le point d'intersection tracé précédemment peut être relié par une ligne verticale aux isobares p_1. Cela donne le dernier point d'état **4** avec la température d'évaporation T_4.

4e étape: reporter des valeurs d'enthalpie spécifiques



Pour calculer les états de fonctionnement d'une installation frigorifique, il est nécessaire de déterminer les enthalpies spécifiques des différentes transformations d'état. Il faut pour cela procéder de la manière suivante:

En reliant verticalement les points d'état avec l'axe X, on peut lire l'enthalpie spécifique.

- h_1 enthalpie spéc. après l'évaporateur
- h_2 enthalpie spéc. après le compresseur
- h_3 enthalpie spéc. après le condenseur
- h_4 enthalpie spéc. après la soupape de détente

La puissance frigorifique spécifique q_0 et la puissance spécifique du condenseur q_c peuvent être lues directement sur le diagramme log p,h.

Puissance frigorifique spécifique $q_0 = h_1 - h_4$

Puissance spécifique du condenseur $q_c = h_2 - h_3$



ET 351C
Thermodynamique du circuit frigorifique



Description

- **installation frigorifique à compression pour études thermodynamiques**
- **évaporateur chauffé indirectement et condenseur refroidi par eau**
- **compresseur ouvert avec moteur d'entraînement suspendu pivotant pour mesure de couple**

On prête particulièrement attention pour ce banc d'essai à rendre transparente les procédures thermodynamiques dans l'installation frigorifique. Les puissances du compresseur, de l'évaporateur et du condenseur peuvent être mesurées. Des points de mesure de pression et de température sont situés sur tous les points pertinents de sorte que les pertes de pression et de chaleur dans l'installation frigorifique puissent aussi être étudiées de manière précise.

Le circuit frigorifique du ET 351C comporte un compresseur ouvert à vitesse de rotation variable, un condenseur refroidi par eau, une soupape de détente thermostatique et un évaporateur chauffé par un circuit d'eau chaude.

L'entraînement du compresseur se produit par le biais d'un moteur suspendu pivotant pourvu d'un convertisseur de fréquence pour l'ajustage de la vitesse de rotation. Un capteur de charge permet la mesure du couple d'entraînement. La puissance mécanique d'entraînement du compresseur peut être déterminée par la vitesse de rotation. La puissance de chauffe du circuit d'eau chaude est ajustable en continu et est affichée. La puissance du condenseur émise est mesurée par le débit d'eau de refroidissement.

Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel permet la représentation du processus sur le diagramme log p,h et affiche les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus comme par exemple le rapport de pression de compression et les coefficients de performance.

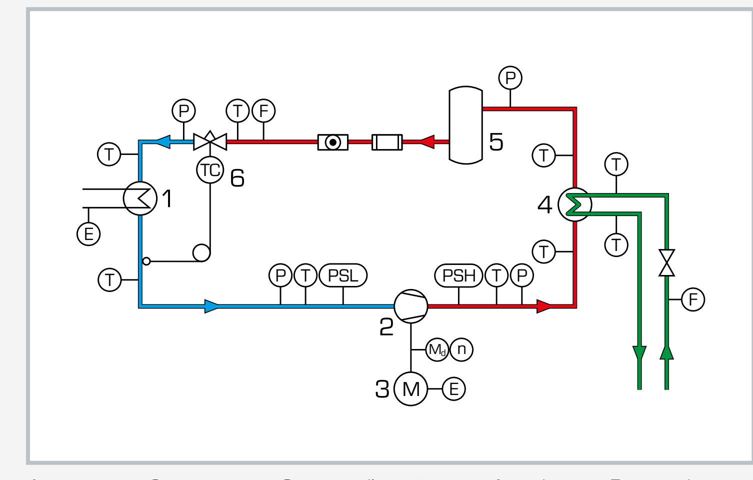
Contenu didactique/essais

- cycle sur le diagramme log p,h
- comparaison du cycle réel au cycle idéal
- bilan de l'évaporateur et du condenseur
- calcul de la puissance du moteur grâce à la vitesse de rotation et au couple
- détermination des pertes
- détermination du coefficient de performance
- comportement en service sous charge
- comportement en service non stationnaire

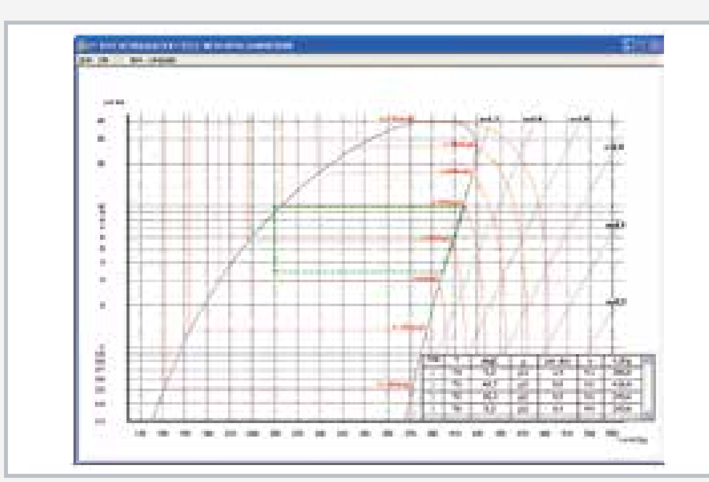
ET 351C
Thermodynamique du circuit frigorifique



1 soupape de détente, 2 évaporateur, 3 débitmètre agent réfrigérant, 4 pressostat, 5 schéma de processus, 6 réservoir, 7 circuit d'eau chaude de l'évaporateur, 8 moteur d'entraînement, 9 compresseur, 10 débitmètre eau de refroidissement, 11 condenseur, 12 éléments d'affichage et de commande



1 évaporateur, 2 compresseur, 3 moteur d'entraînement, 4 condenseur, 5 réservoir, 6 soupape de détente; P pression, T température, F débit, M_d couple, n vitesse de rotation, E puissance électrique; PSL, PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, vert: eau de refroidissement



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] étude thermodynamique d'un circuit frigorifique
[2] circuit frigorifique avec compresseur ouvert, condenseur refroidi par eau, soupape de détente thermostatique et évaporateur chauffé indirectement
[3] entraînement du compresseur avec moteur à vitesse de rotation régulée par courroie de distribution
[4] moteur suspendu pivotant pour mesure de couple
[5] évaporateur tubulaire avec circuit d'eau chaude comme charge de refroidissement
[6] échangeur de chaleur à serpentin refroidi par eau comme évaporateur
[7] affichages de température, pression, débit, vitesse de rotation, couple et puissance sur l'appareil
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[9] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur ouvert
- puissance frigorifique: env. 965W (à une vitesse de rotation de: 1450min^{-1} et 5/40°C)

Dispositif de chauffage: 1x 1000W
Condenseur, puissance: 1300W

Agent réfrigérant
- R513A, GWP: 631, volume de remplissage: 2kg, équivalent CO_2: 1,3t

Plages de mesure
- température: 9x -30...100°C, 1x 0...100°C
- pression: 1x -1...9bar, 1x -1...24bar, 4x -1...15bar
- couple: (compresseur) 0...10Nm
- vitesse de rotation: (compresseur) 0...2500min^{-1}
- puissance absorbée: (compresseur) 0...1125W
- puissance: (dispositif de chauffage) 0...1125W
- débit: (eau) 5...70g/s
- débit: (agent réfrigérant) 0...0,5L/min

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1520x790x1760mm
Poids: env. 120kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu de flexibles, 1 pompe à main
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 412C
Installation frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation



Description

- **installation frigorifique à deux pressions d'évaporations différentes**
- **simulation de 18 pannes**

Des connaissances importantes sont nécessaires pour identifier les pannes dans les installations frigorifiques. Cela comprend la connaissance de la structure et de la tâche des composants individuels. Avec l'ET 412C, la conception et les composants d'un système de réfrigération peuvent être examinés. La simulation des erreurs typiques étend la portée de l'expérience.

Les composants d'un circuit frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation sont disposés de manière visible sur le banc d'essai. Les électrovannes permettent le fonctionnement seul ou en parallèle des évaporateurs dans les deux chambres. Le circuit est équipé d'un pressostat combiné pour le côté aspiration et pression du compresseur. La chambre de refroidissement possède un régulateur de pression d'évaporation. L'influence du régulateur de pression d'évaporation sur l'ensemble du processus est étudiée. Un échangeur de température interne à l'arrivée des deux évaporateurs fait office de surrefroidissement de l'agent réfrigérant et sert ainsi à une plus grande efficacité du processus. Dans le même temps, le gaz aspiré est surchauffé.

Un chauffage de dégivrage électrique est disponible pour dégivrer la chambre de congélation. La simulation de 18 pannes différentes, comme par exemple une électrovanne défectueuse ou un relais défectueux, est prévue.

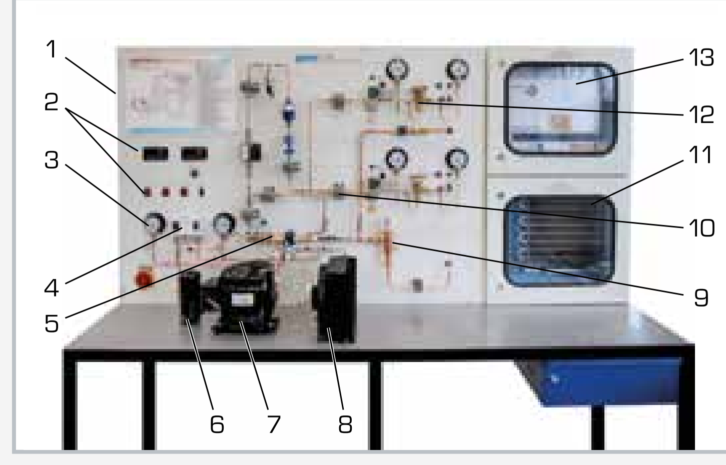
Le schéma de processus sur le banc d'essai donne un rapide aperçu. Les lampes de signalisation sur le schéma de processus affichent l'état de fonctionnement des composants sélectionnés. Les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par un capteur. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées.

Les pressions les plus importantes sont affichées en plus par des manomètres disposés directement sur le banc d'essai. Le logiciel permet la représentation du cycle sur un diagramme log p,h.

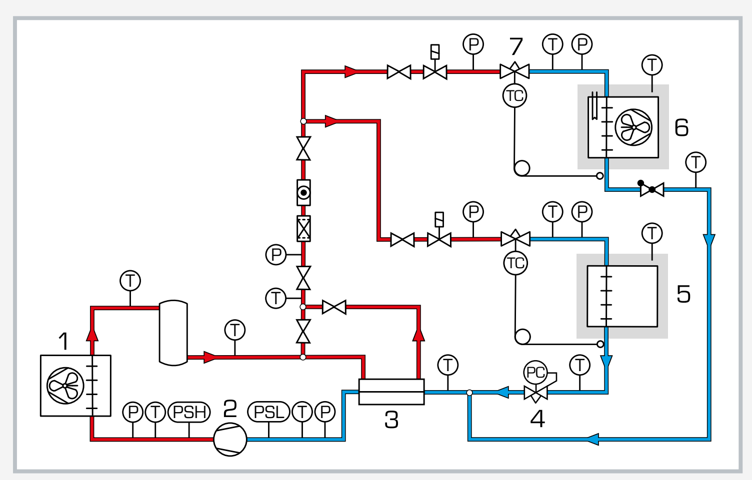
Contenu didactique/essais

- structure et composants d'une installation frigorifique à deux évaporateurs
- composants et leur fonction:
  - compresseur, condenseur, évaporateur
  - soupape de détente thermostatique
  - régulateur de pression d'évaporation
  - pressostat
  - chauffage de dégivrage électrique
- thermodynamique du cycle frigorifique
  - influence du surrefroidissement de l'agent réfrigérant
  - représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
  - détermination des grandeurs caractéristiques importantes: coefficient de performance, puissance frigorifique, travail de compression
- recherche de pannes sur les composants de l'installation frigorifique

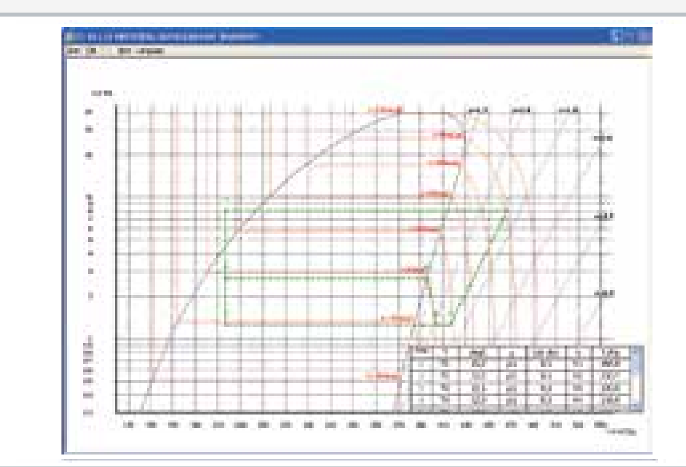
ET 412C
Installation frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation



1 bouton de pannes, 2 éléments d'affichage et de commande avec schéma de processus, 3 manomètre, 4 pressostat, 5 échangeur de chaleur, 6 réservoir, 7 compresseur, 8 condenseur avec ventilateur, 9 régulateur de pression d'évaporation, 10 vanne, 11 chambre de refroidissement, 12 soupape de détente, 13 chambre de congélation



1 condenseur, 2 compresseur, 3 échangeur de chaleur, 4 régulateur de pression d'évaporation, 5 chambre de refroidissement, 6 chambre de congélation avec chauffage de dégivrage, 7 soupape de détente;
T température, P pression, F flow rate, PSH, PSL pressostat



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h à deux pressions d'évaporations différentes

Spécification

[1] étude d'une installation frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur et 2 évaporateurs avec soupape de détente thermostatique et régulateur de pression d'évaporation
[3] chambre de congélation avec ventilateur et chauffage de dégivrage électrique
[4] chambre de refroidissement avec régulateur de pression d'évaporation
[5] échangeur de chaleur pour surrefroidissement de l'agent réfrigérant
[6] fonctionnement seul ou en parallèle des chambres par électrovannes
[7] capteur mesurant la pression et la température
[8] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[9] simulation de 18 pannes
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[11] agent réfrigérant R513A, GWP:631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance absorbée: 565W à 7,2/54,4°C
- puissance frigorifique: 1363W à 7,2/54,4°C

Condenseur avec ventilateur
- débit volumétrique d'air: 290m^3/h
- surface de transfert: 1,5m^2

Chambre de refroidissement
- surface de transfert de l'évaporateur: 1,06m^2

Chambre de congélation
- surface de transfert de l'évaporateur: 2,42m^2
- débit volumétrique d'air, ventilateur: 135m^3/h
- chauffage de dégivrage électrique: env. 150 W

Régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar

Agent réfrigérant: R513A, GWP:631, volume de remplissage: 1,5kg, équivalent CO_2: 0,9t

Plages de mesure
- température: 12x -50...120°C
- pression: 3x -1...15bar, 3x -1...9bar, 3x -1...24bar
- puissance: 0...1125W
- débit: 1...11,5L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2000x660x1900mm
Poids: env. 219kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 430
Installation frigorifique à compression à deux niveaux



L'illustration montre un appareil similaire

Description

- **installation frigorifique à compression à 2 niveaux de compression permettant d'atteindre des températures particulièrement basses**
- **injecteur de refroidissement intermédiaire**
- **échangeur de chaleur pour un surrefroidissement supplémentaire du réfrigérant**
- **représentation des processus sous forme de diagramme log p,h du logiciel en temps réel**

Les installations frigorifiques à 2 niveaux de compression sont utilisées dans le cas où des températures particulièrement basses doivent être atteintes. De grandes différences de pression entre l'évaporateur et le condenseur sont nécessaires dans le cas de températures très basses. Dans le cas de rapports de pression élevés, le rendement volumétrique baisse pour un compresseur. C'est pour cela que seul 2 compresseurs sont montés en série, chaque compresseur séparé n'ayant alors qu'un rapport de pression relativement réduit. Le compresseur pour le niveau de pression basse peut de ce fait être dimensionné de manière plus intéressante. En raison du grand volume spécifique, une cylindrée plus grande est nécessaire pour une petite puissance d'entraînement.
En outre, la température de sortie hors du compresseur à haute pression (HP) est abaissée à des valeurs ne présentant pas de risque par un refroidissement intermédiaire entre le compresseur à basse pression (BP) et (HP) et le rendement de compression est amélioré.
On utilise une injection de refroidissement intermédiaire sur le banc d'essai ET 430. Dans ce cas, on injecte une faible quantité de réfrigérant liquide hors du réservoir dans la conduite de sortie du compresseur BP. Le réfrigérant liquide évapore et refroidit de ce fait le gaz d'aspiration pour le compresseur HP. Le surrefroidissement du réfrigérant liquide peut être augmentée avant la soupape de détente par un échangeur de chaleur enclenchable dans l'injecteur de refroidissement. Cela permet une augmentation de puissance de l'évaporateur.
Les vannes permettent de déconnecter l'injection de refroidissement intermédiaire ou de l'échangeur de chaleur pour le surrefroidissement du réfrigérant. Il est ainsi possible de montrer clairement leur influence sur l'installation.
Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par des capteurs et affichées. La transmission simultanée des valeurs de mesure à un logiciel d'acquisition des données permet l'évaluation aisée et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. En plus, deux débitmètres affichent le débit volumétrique total et le débit volumétrique dans le refroidissement intermédiaire.

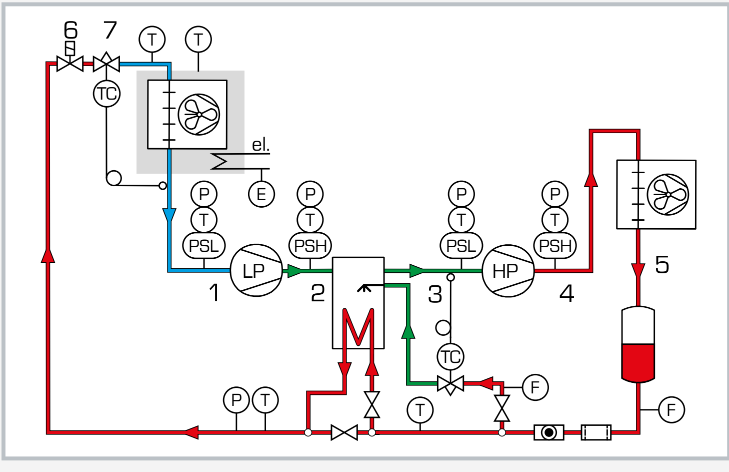
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique à 2 niveaux de compression et injection de refroidissement intermédiaire
- influence de la températ. d'entrée du compresseur HP sur le rendement de compression
  - avec ou sans refroidissement intermédiaire
- influence du surrefroidissement supplément. du réfrigérant
- répartition des rapports de pression de compress
- représenter et comprendre le cycle frigorifique sur le diagramme log p,h

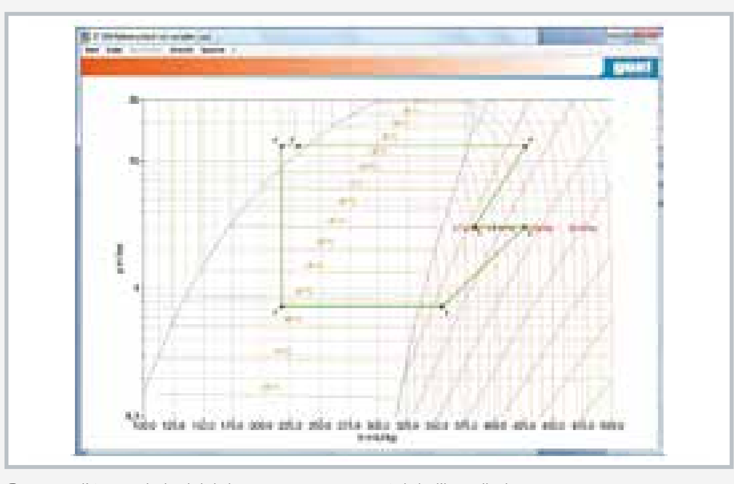
ET 430
Installation frigorifique à compression à deux niveaux



1 soupape de détente, 2 chambre de réfroidissement, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 pressostat, 5 injecteur, 6 injecteur de refroidissement., 7 compresseur BP, 8 compresseur HP, 9 réservoir, 10 débitmètre, 11 échangeur de chaleur, 12 condenseur



1-2 compression BP, 2-3 refroidissement intermédiaire, 3-4 compression HP, 4-5 condensation, 5-6 surrefroidissement, 6-7 expansion, 7-1 évaporation;
T température, P pression, E puissance électrique, F débit, PSL, PSH pressostat



Capture d'écran du logiciel dans un processus réel de l'installation

Spécification

[1] installation frigorifique à compression à 2 niveaux
[2] compresseur à basse et haute pression hermétique
[3] refroidissement intermédiaire ajustable par injection de réfrigérant
[4] échangeur de chaleur pour surrefroidissement supplémentaire du réfrigérant liquide
[5] chambre de refroidissement fermée contient un évaporateur avec ventilateur et un dispositif de chauffage électrique ajustable comme charge de refroidissement
[6] affichage numérique des températures, puissance d'entraînement du compresseur et puissance de la charge de refroidissement
[7] représentation des processus sous forme de diagramme log p,h du logiciel en temps réel
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[9] réfrigérant R449A, GWP: 1397

Caractéristiques techniques

Compresseur à basse pression (BP)
- puissance absorbée: 275W à -10/55°C
- puissance frigorifique: 583W à -10/55°C

Compresseur à haute pression (HP)
- puissance absorbée: env. 841W à -25/55°C
- puissance frigorifique: 702W à -25/55°C

Réfrigérant
- R449A
- GWP: 1397
- volume de remplissage: 1,29kg
- équivalent CO_2: 1,8t

Plages de mesure
- débit: 2...29L/h, 4...40L/h
- pression: 1x -1...15bar, 2x -1...24bar
- température: 8x -75...125°C
- puissance:
  - 0...562W (dispositif de chauffage)
  - 0...750W (compresseur HP)
  - 0...2250W (compresseur BP)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1900x790x1900mm
Poids: env. 283kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 441
Chambre de refroidissement et méthodes de dégivrage



Description

- **chambre de refroidissement et de congélation combinée av. mesure de la température et de l'humidité**
- **évaporateurs de tailles différentes**
- **différentes méthodes de dégivrage**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

La climatisation dans la chambre froide a une influence déterminante sur la qualité des produits entreposés à l'intérieur. Cette climatisation dépend de différents paramètres tels que la température de surface des évaporateurs, la température de la chambre froide, l'intensité de givrage, la quantité et le type de la denrée réfrigérée.

Le givrage de l'évaporateur dépend de la température de l'évaporateur et de la température ambiante ainsi que de la quantité d'humidité apportée par la denrée réfrigérée. Un givrage de l'évaporateur réduit fortement la puissance frigorifique et c'est pour cette raison qu'elle doit être évitée autant que possible par des dégivrages périodiques c'est-à-dire le réchauffement des surfaces de l'évaporateur. En dehors du dégivrage périodique à des intervalles de temps donnés, un dégivrage est également requis en fonction de la couche de glace mesurée. Le réchauffement de la surface de l'évaporateur peut se produire de l'extérieur par un réchauffement électrique ou de l'intérieur par gaz chauds sortant directement du compresseur d'agent réfrigérant.

Le banc d'essai est équipé d'une grande chambre de refroidissement. Deux évaporateurs permettent d'étudier l'influence de différentes grandeurs d'évaporateur sur la climatisation de la chambre froide et sur le givrage. Un chauffage de dégivrage électrique ainsi qu'un dégivrage par gaz chauds sont disponibles. Le processus de dégivrage peut se produire par un régulateur de dégivrage selon les besoins ou par une horloge de commutation de dégivrage à des moments donnés.

Deux sources de chaleur ajustables dans la chambre de refroidissement simulent la charge de refroidissement. Une de ces sources de chaleur produit de la vapeur d'eau de sorte à ce qu'une entrée d'humidité dans la chambre de refroidissement soit simulée.

Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. L'acquisition des données permet entre autres l'enregistrement du déroulement d'un processus de dégivrage en fonction du temps et une représentation online de la climatisation dans la chambre de refroidissement sur le diagramme h,x. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées.

Contenu didactique/essais

- influence de la grandeur d'évaporation et de la température d'évaporation sur le climat dans la chambre de refroidissement
- formation de givre et de glace dans certaines conditions de fonctionnement
- différence entre charge de refroidissement latente et sensible
- différentes méthodes de dégivrage (chauffage électrique, gaz chauds)
- configuration des commandes de dégivrage tels que l'horloge de commutation de dégivrage ou le régulateur de dégivrage

ET 441
Chambre de refroidissement et méthodes de dégivrage



1 évaporateur, 2 humidificateur, 3 régulateur de pression d'évaporation, 4 échangeur de chaleur, 5 groupe frigorifique, 6 réservoir, 7 compresseur, 8 éléments de commande, 9 affichages de température et d'humidité, 10 horloge de commutation de dégivrage, 11 régulateur de dégivrage, 12 électrovanne permettant de sélectionner l'évaporateur, 13 chambre de refroidissement

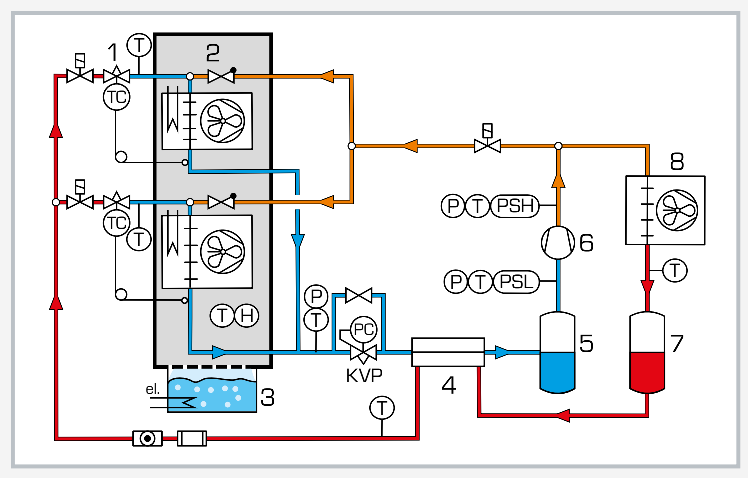
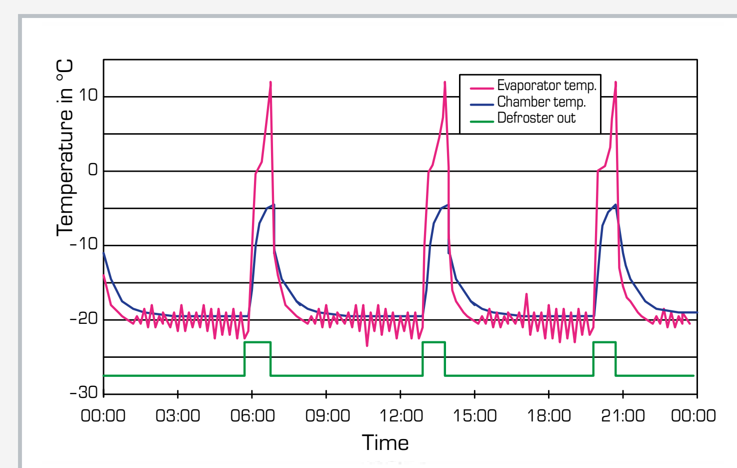


Schéma de processus av. dégivrage de gaz chauds (orange); 1 soupape de détente, 2 chambre de refroidissement avec 2 échangeurs de chaleur de tailles différentes, 3 humidificateur à vapeur, 4 échangeur de chaleur, 5 séparateur de liquide, 6 compresseur, 7 réservoir, 8 condenseur;
T température, P pression, H humidité, PSH, PSL pressostat



Évolution de temps d'une commande de dégivrage (vert) avec température d'évaporateur (rouge) et température de la chambre de refroidissement (bleu)

Spécification

[1] installation frigorifique d'étude de la climatisation dans la chambre de refroidissement et différentes méthodes de dégivrage
[2] 2 évaporateurs, séparés et commutables par électrovannes
[3] chauffage de dégivrage électrique
[4] dégivrage par gaz chauds
[5] régulateur de dégivrage et horloge de commutation de dégivrage
[6] charge de refroidissement latente et sensible
[7] température et pression d'évaporation ajustables
[8] échangeur de chaleur comme surchauffeur et pour le surrefroidissement de l'agent réfrigérant
[9] affichage numérique de la température et de l'humidité dans la chambre de refroidissement
[10] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[11] logiciel GUNT avec représentation online du diagramme h,x
[12] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[13] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance absorbée: 565W à 7,2/54,4°C
- puissance frigorifique: 1363W à 7,2/54,4°C

Charge de refroidissement latente: 2x 0...250W
Charge de refroidissement sensible
- 1x 200W, 1x 250W

Réservoir: 1,3L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1,3kg
- équivalent CO_2: 0,8t

Plages de mesure
- pression: 2x 0...16bar, 1x 0...25bar
- température: 7x -50...150°C; 1x -25...125°C
- humidité rel.: 0...100%
- débit: 0...39kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2000x790x1900mm
Poids: env. 250kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

3

Composants du génie frigorifique

Introduction

Compresseurs

Évaporateurs et condenseurs

Régulateurs primaires et secondaires

Tuyauterie

Modèles en coupe

Montage, dépannage, maintenance





Composants du génie frigorifique

Composants du circuit frigorifique

Puissance du condenseur
Condenseur
Conduite de liquide
Conduite de gaz chauds
Pression log p
T const.
Soupape de détente
3 3' 2'' 2' 2
Compresseur
4 1' 1
T const.
x=0
x=1
Puissance d'entraînement
Enthalpie spécifique h
Tube capillaire
Conduite d'injection
Conduite de gaz d'aspiration
Évaporateur
Puissance frigorifique

1 – 2	2 – 2''	2'' – 3'	3' – 3	3 – 4	4 – 1'	1' – 1
compression polytropique à la pression de condensation (par rapport à 1 – 2' compression isentropique)	refroidissement isobare, désurchauffe de la vapeur surchauffée	condensation isobare	refroidissement isobare, surrefroidissement du liquide	détente isenthalpique à la pression d'évaporation	évaporation isobare	chauffage isobare, surchauffage de la vapeur

Les **appareils d'essai** de GUNT montrent le fonctionnement des composants du circuit de l'agent réfrigérant et la manière dont ils interagissent. Différents types de composants principaux tels que les compresseurs, évaporateurs et condenseurs ainsi que les régulateurs primaires et secondaires sont étudiés et des grandeurs caractéristiques typiques sont déterminées. On étudie également les principes de fonctionnement des conduites qui transportent l'agent réfrigérant sous forme gazeuse ou liquide, mais aussi du lubrifiant.

ET 180
Pressostats en génie frigorifique



ET 460
Retour d'huile dans les installations frigorifiques



ET 432
Comportement d'un compresseur à piston



Les animations techniques comme les **modèles en coupe** sont remarquables pour la représentation des processus et des fonctions. Pour ces modèles en coupe, GUNT utilise des composants actuels originaux. Les fonctions de mouvement et de commutation sont préservées. Les vues en coupe sont réalisées de telle façon à ce que les détails constructifs soient facilement reconnaissables. La liste de livraison inclut une brève description et un dessin en coupe. Ceci permet d'étendre le champ d'enseignement offert par les modèles à des exercices de dessin industriel.

Les modèles de grande taille sont montés de manière claire sur une plaque de base. Deux poignées facilitent le transport.

ET 499.01
Modèle en coupe: compresseur d'agent réfrigérant hermétique



ET 499.03
Modèle en coupe: compresseur d'agent réfrigérant ouvert

ET 499.18
Modèle en coupe: soupape de détente (thermostatique)



Les **exercices de montage**, le **dépannage** et **l'entretien** établissent un lien étroit avec la pratique et aident les apprentis, grâce au concept didactique global, à acquérir les compétences pratiques dont ils ont besoin pour travailler sur des installations frigorifiques. Il est ici question de la planification, de l'exécution et du contrôle des processus.

ET 192
Remplacement de composants frigorifiques



ET 150.01
Appareil de remplissage et d'évacuation d'agent réfrigérant



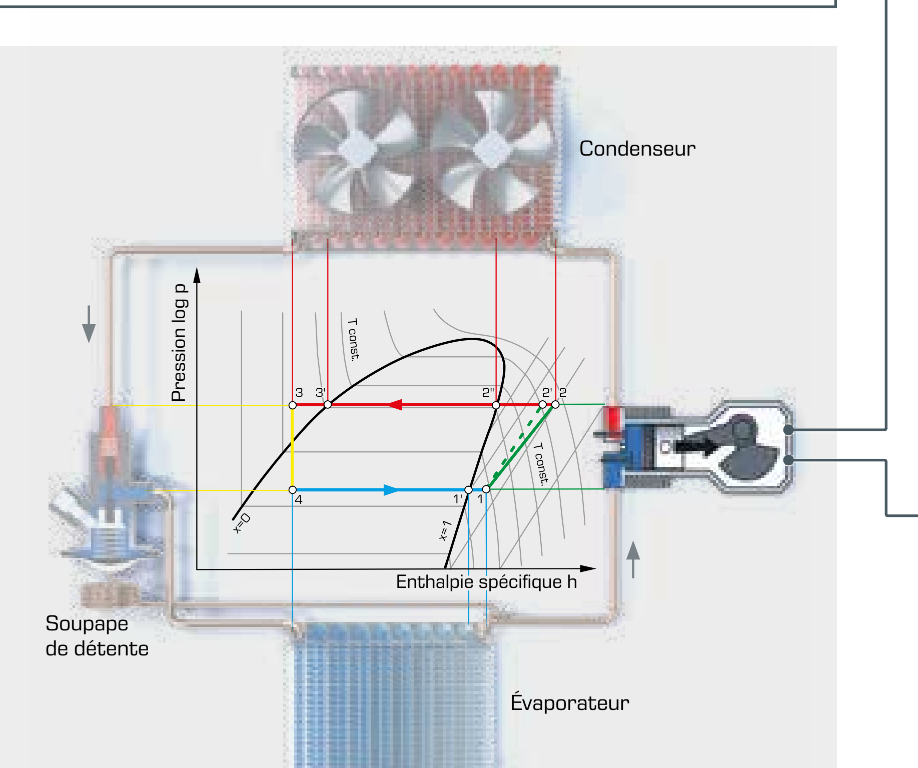


Connaissances de base

Les compresseurs utilisés dans le domaine du génie frigorifique

Le rôle des compresseurs d'agent réfrigérant consiste à transporter l'agent réfrigérant gazeux du niveau de pression de l'évaporateur au niveau de pression du condensateur. C'est par le biais du compresseur que le cycle frigorifique est alimenté en énergie mécanique. En règle générale, les compresseurs ont un entraînement électrique, mais il existe également un entraînement via un moteur à combustion interne (installation de climatisation dans les véhicules).

L'installation frigorifique à éjection de vapeur a une forme particulière. Dans son cas, on utilise un courant partiel de la vapeur de l'agent réfrigérant même pour réaliser la compression. Les installations frigorifiques à éjection de vapeur ont un entraînement thermique et elles peuvent directement utiliser des sources d'énergie alternatives, comme l'héliothermie ou la chaleur perdue.





Compresseur ouvert à deux cylindres



Compresseur hermétique

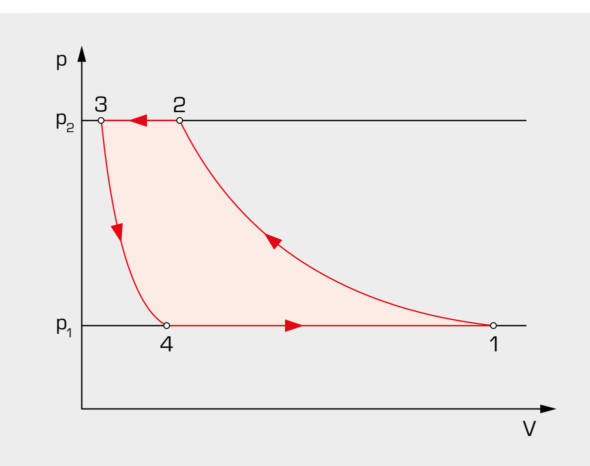


Diagramme p,V du compresseur à piston

Il est possible de faire une représentation claire des opérations qui se déroulent dans le cylindre dans le diagramme p,V. Dans le cadre cette opération, la pression est **p** indiquée dans le cylindre au-dessus de la culasse du cylindre **V**.

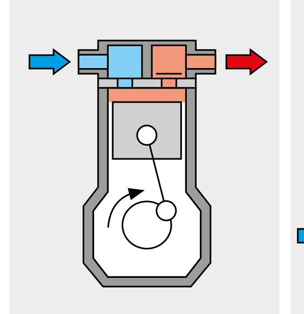
1 – 2 compression polytropique de la pression $\mathbf{p_1}$ sur la pression $\mathbf{p_2}$

2 – 3 acheminement du gaz comprimé dans la conduite de pression

3 – 4 réexpansion polytropique du gaz résiduel sur la pression d'aspiration $\mathbf{p_1}$

4 – 1 aspiration à partir de la conduite d'aspiration

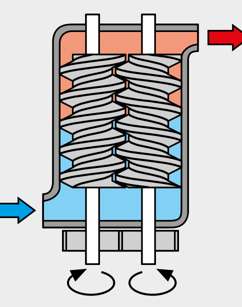
Conception de compresseurs utilisés dans le domaine du génie frigorifique





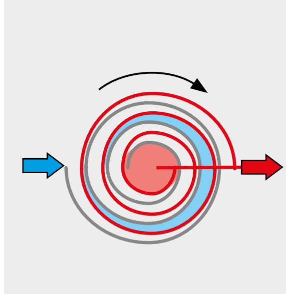
Compresseurs à piston

Puissances faibles et moyennes



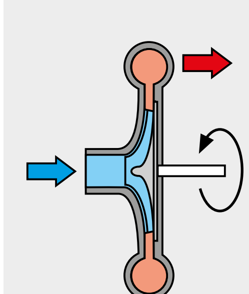
Compresseurs à vis

Moyennes et grandes puissances



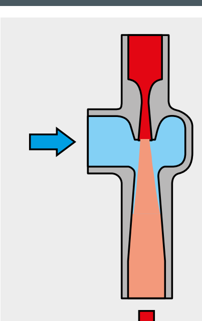
Compresseurs scroll

Puissances faibles et moyennes



Turbo compresseurs

Uniquement utilisés pour de grandes puissances



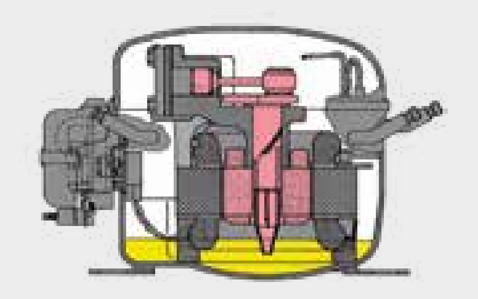
Compresseurs à éjection de vapeur

Applications spéciales dans le cadre desquelles on utilise de la vapeur d'entraînement

Types de boîtiers

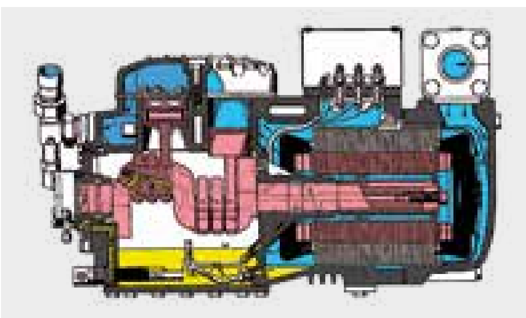
Compresseur de moteur hermétique

- le moteur d'entraînement et le compresseur sont installés dans un boîtier soudé sans joints (capsule)
- refroidissement via du gaz aspiré
- il n'exige aucun entretien; il doit être changé en cas d'endommagement



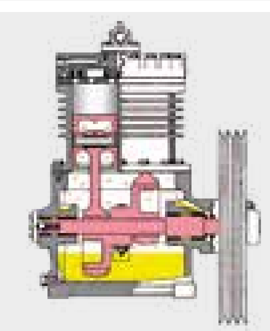
Compresseur de moteur semi-hermétique

- moteur d'entraînement et compresseur dans un boîtier vissé
- refroidissement via du gaz aspiré
- il peut être réparé en cas d'endommagement



Compresseur ouvert

- compresseur dans un boîtier vissé
- refroidissement combiné gaz aspiré et air
- entraînement par un moteur externe, la puissance pouvant être adaptée par la transmission de l'entraînement par courroie
- le passage d'arbre est sujet à des endommagements
- il peut être réparé en cas d'endommagement





ET 165
Installation frigorifique à compression avec HM 365

Élément de la série GUNT-FEMLine

- principe de fonctionnement d'une installation frigorifique à compression
- compresseur ouvert avec une vitesse de rotation variable
- mesure de la puissance motrice mécanique
- détermination du rendement du compresseur
- influence de la puissance de refoulement du compresseur sur le circuit frigorifique
- entraînement par le dispositif de freinage et d'entraînement universel HM 365

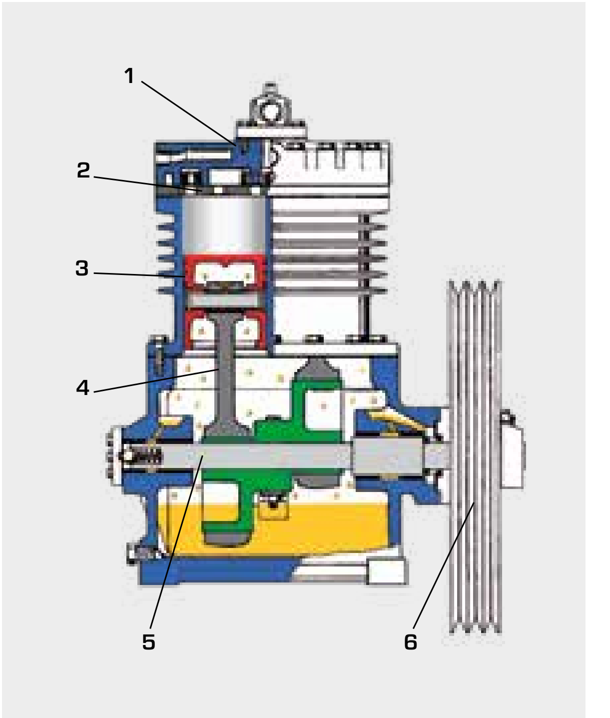




HM 365
Dispositif de freinage et d'entraînement universel



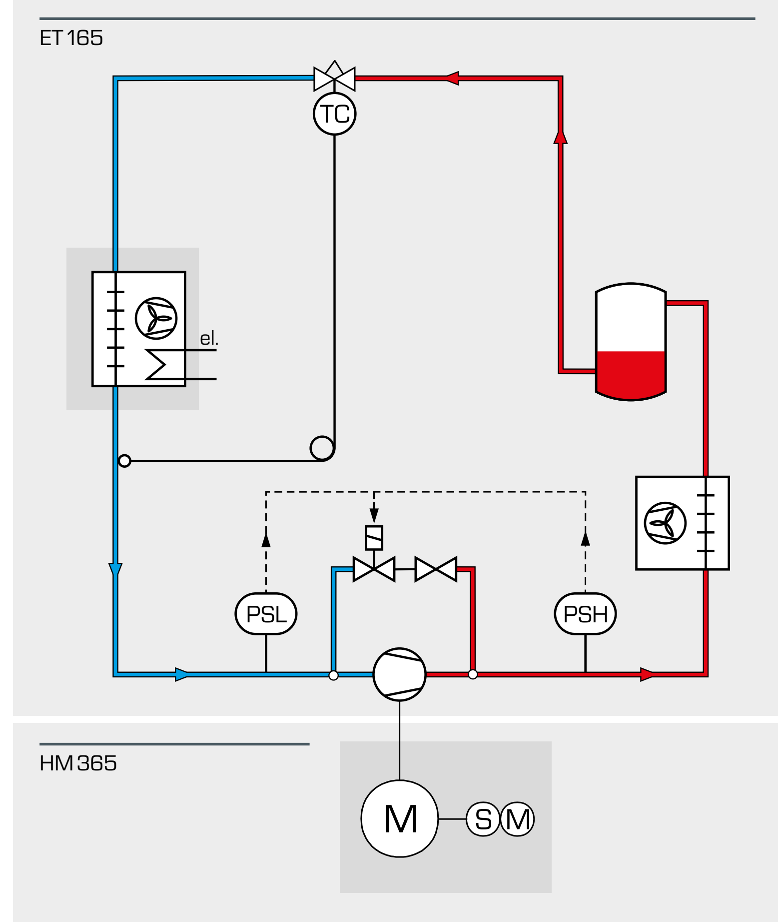
ET 165 Installation frigorifique avec compresseur ouvert



Coupe d'un compresseur ouvert:

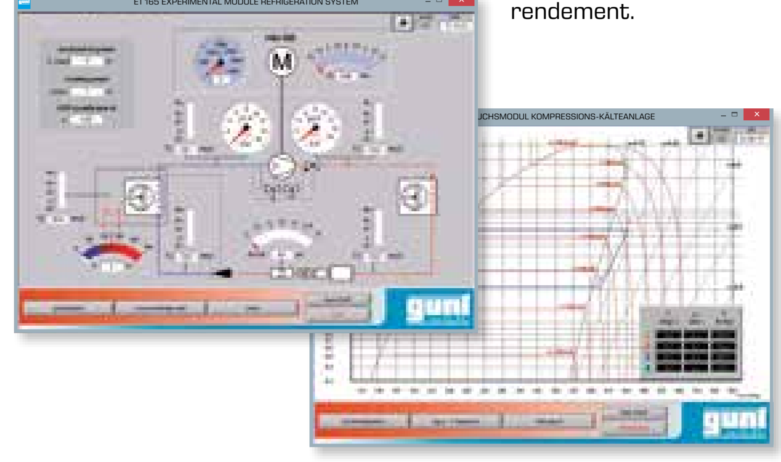
1 culasse de cylindre, **2** plaque de soupape, **3** piston, **4** bielle, **5** arbre à excentrique, **6** poulie à courroie

Contrairement au compresseur hermétique, le compresseur ouvert de ET 165 est entraîné par un moteur électrique externe. On utilise des compresseurs ouverts dans le cadre du refroidissement industriel pour des puissances moyennes à grandes. L'avantage consiste en ce que le débit de refoulement puisse être facilement ajusté par la vitesse de rotation de l'entraînement. Cette opération s'effectue par un moteur électrique régulé par la vitesse de rotation ou bien par différentes transmissions de l'entraînement par courroie.



Le circuit frigorifique de ET 165 se compose d'un compresseur ouvert, d'un condenseur refroidi par air, d'une soupape de détente et d'un évaporateur installé dans une chambre de refroidissement. Pour représenter une charge de refroidissement, il est possible de chauffer la chambre de refroidissement électriquement. Des pressostats protègent le compresseur contre des pressions trop élevées ou trop basses en ouvrant la dérivation menant au compresseur.

La vitesse de rotation de l'entraînement est ajustable. Ainsi on examine l'influence de différents débits de refoulement sur l'installation frigorifique. À l'aide de la mesure de la vitesse de rotation de l'entraînement et du moment d'un couple de l'entraînement, il est possible d'effectuer une étude approfondi du compresseur, par exemple la détermination du rendement.



Le logiciel permet de faire une représentation claire des valeurs mesurées sur un PC. Il est possible d'enregistrer et de sauvegarder des évolutions de temps. Une caractéristique très utile consiste dans l'affichage du cycle dans le diagramme log p,h. À l'aide d'un calcul par tableurs (par exemple, MS Excel), il est possible de procéder à une évaluation des données sauvegardées. La transmission des données de mesure sur un PC se fait via une interface USB.



ET 165
Installation frigorifique avec compresseur ouvert



L'illustration montre un appareil similaire

Description

- **mesure de puissance avec compresseur ouvert à vitesse de rotation variable**
- **chambre de refroidissement avec charge de refroidissement ajustable**
- **élément de la série GUNT-FEM-Line**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

ET 165 permet des essais fondamentaux dans le domaine du génie frigorifique.

Le banc d'essai comporte un circuit frigorifique fermé avec compresseur ouvert, un condenseur avec ventilateur, une soupape de détente thermostatique et un évaporateur dans une chambre de refroidissement avec porte transparente. Un ventilateur disposé dans la chambre de refroidissement se charge d'une répartition uniforme de température. Une charge de refroidissement est simulée par un dispositif de chauffage ajustable dans la chambre de refroidissement.

L'unité d'entraînement HM 365 entraîne le compresseur par le biais d'une courroie de distribution. La vitesse de rotation du compresseur est ajustée sur le HM 365. Le circuit est équipé d'un pressostat combiné pour le côté aspiration et pression du compresseur.

Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par un capteur. Les affichages numériques affichent les valeurs de mesure. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. La transmission simultanée des valeurs de mesure à un logiciel d'acquisition des données permet l'évaluation aisée et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus comme par exemple la puissance frigorifique et le coefficient de performance.

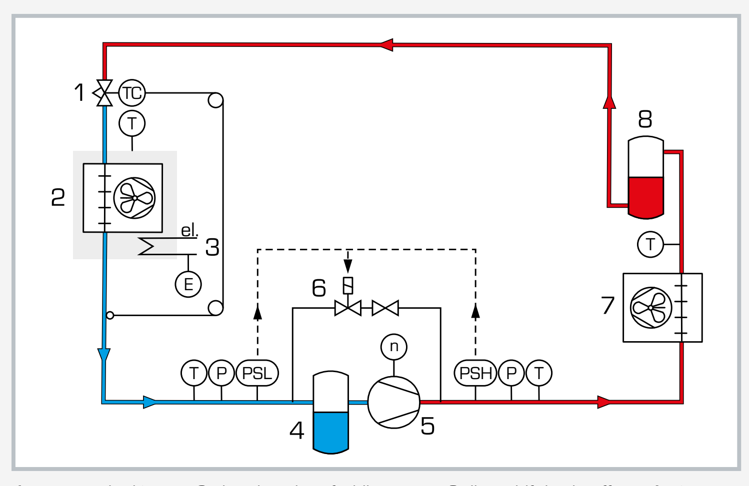
Contenu didactique/essais

- bases du génie frigorifique
- structure et composants d'une installation frigorifique
  - compresseur ouvert avec entraînement
  - condenseur
  - évaporateur
  - soupape de détente thermostatique
  - pressostat
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - coefficient de performance
  - puissance du compresseur
  - puissance frigorifique
  - taux de compression
  - rendement volumétrique
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- détermination du rendement de compression
- influence de la puissance de refoulement du compresseur sur le circuit frigorifique

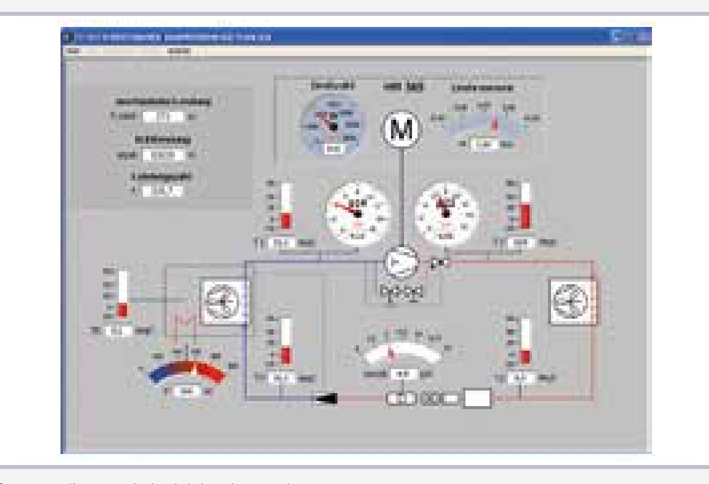
ET 165
Installation frigorifique avec compresseur ouvert



1 soupape de détente, 2 éléments d'affichage et de commande, 3 pressostat, 4 compresseur, 5 condenseur, 6 réservoir, 7 chambre de refroidissement



1 soupape de détente, 2 chambre de refroidissement, 3 dispositif de chauffage, 4 séparateur de liquide, 5 compresseur raccordé au HM 365, 6 électrovanne, 7 condenseur, 8 réservoir; T température, P pression, PSL, PSH pressostat, n vitesse de rotation, E puissance électrique; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] étude d'un circuit frigorifique avec compresseur à vitesse de rotation régulée
[2] circuit frigorifique avec compresseur ouvert, condenseur, soupape de détente thermostatique et évaporateur dans la chambre de refroidissement
[3] charge de refroidissement ajustable dans la chambre par dispositif de chauffage
[4] entraînement et ajustage de la vitesse de rotation du compresseur ouvert par HM 365
[5] condenseur et évaporateur avec ventilateur
[6] pressostat de protection du compresseur
[7] capteurs pour la pression, température, puissance et vitesse de rotation
[8] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur ouvert
- puissance frigorifique: env. 965W (pour une vitesse de rotation de 1450min^{-1} et 5/40°C)

Condenseur avec ventilateur
- surface de transfert: 2,5m^2
- puissance: env. 1935W à une température de l'air (ambiant) de 25°C / Δt=15°C

Évaporateur
- surface de transfert: 3,62m^2
- puissance: 460W à une température de l'air (chambre) de 3°C / Δt=13°C

Puissance du dispositif de chauffage: 500W
Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 1,7kg
- équivalent CO_2: 1,1t

Plages de mesure
- température: 4x -5...105°C, 1x -50...250°C
- pression: -1...15bar, -1...24bar
- vitesse de rotation: 0...1000min^{-1}
- débit: 0...17kg/h (agent réfrigérant)
- puissance: 0...500W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1470x800x1850mm
Poids: env. 185kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 courroie trapézoïdale
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 432
Comportement d'un compresseur à piston



Description

- **compresseur à piston à deux cylindres ouverts issu du génie frigorifique**
- **enregistrement de la courbe caractéristique pression-débit volumétrique**
- **mesure de la quantité aspirée et du rapport de pression**
- **détermination du rendement volumétrique et du rendement**

Les petites installations frigorifiques possèdent la plupart du temps un compresseur à piston. Le compresseur à piston fait partie des machines volumétriques. Celles-ci possèdent des caractéristiques qui se distinguent de manière déterminante des machines à écoulement, qui font partie des turbocompresseurs usuels dans le cas des très grosses installations.

Le débit de refoulement dépend, en premier lieu, de la cylindrée et de la vitesse de rotation dans le cas des compresseurs à piston. En raison du volume mort qu'il ne faut pas éviter, le débit de refoulement diminue dans le cas d'un rapport de pression qui augmente. Étant donné que le débit de refoulement est une mesure de la puissance frigorifique de l'installation frigorifique, les caractéristiques du compresseur sont importantes pour la puissance de l'ensemble de l'installation.

Pour ce banc d'essai, un compresseur ouvert à agent réfrigérant usuel est utilisé avec de l'air dans un processus ouvert. Les pressions d'entrée et de sortie, et ainsi le rapport de pression, peuvent être ajustés par vanne dans une large amplitude. L'entraînement réalisé par un convertisseur de fréquence permet d'obtenir différentes vitesses de rotation.

Les pressions, températures, puissances électriques absorbées, vitesse de rotation et couples sont pris en compte. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

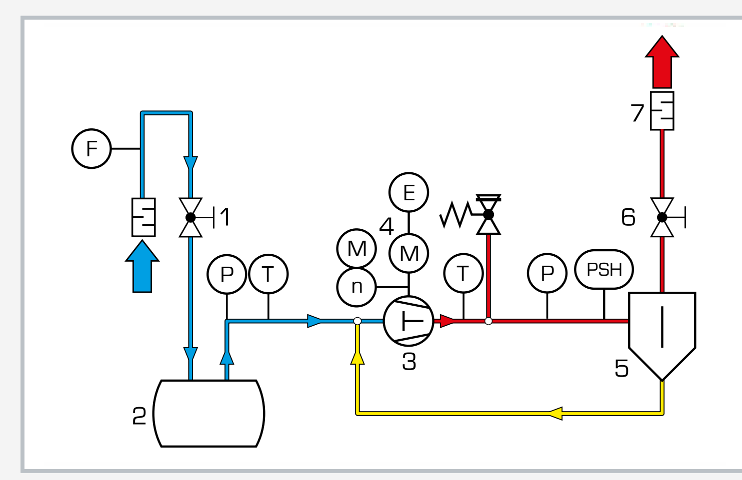
Contenu didactique/essais

- détermination des grandeurs caractéristiques d'un compresseur à piston à l'essai
- enregistrement de la courbe caractéristique pression-débit volumétrique
- détermination du rendement volumétrique pour différentes pressions d'aspiration, rapports de pression et vitesses de rotation
- détermination de la puissance isotherme du compresseur
- mesure des puissances mécaniques et électriques absorbées en fonction de la pression d'aspiration et du rapport de pression
- détermination du rendement mécanique et du rendement total

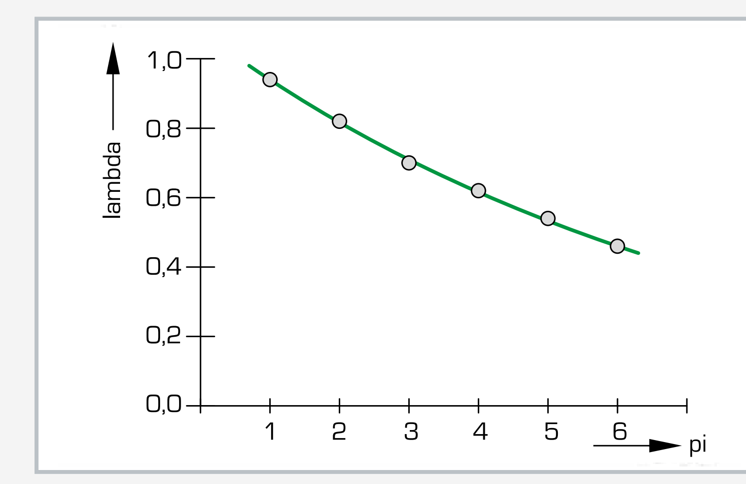
ET 432
Comportement d'un compresseur à piston



1 éléments d'affichage et de commande, 2 débitmètre, 3 compresseur de l'agent réfrigérant, 4 réservoir de stabilisation, 5 moteur d'entraînement avec mesure du couple, 6 manomètre, 7 séparateur d'huile, 8 pressostat, 9 vanne



1 vanne côté aspiration, 2 réservoir de stabilisation, 3 compresseur, 4 moteur d'entraînement, 5 séparateur d'huile, 6 vanne côté pression, 7 silencieux; F débit, T température, P pression, M couple, n vitesse de rotation, E puissance électrique; PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, jaune: retour d'huile



Évolution du rendement volumétrique lambda en fonction du rapport de pression pi

Spécification

[1] banc d'essai pour compresseur à piston en génie frigorifique
[2] processus ouvert avec air
[3] compresseur à deux cylindres ouverts typique
[4] entraînement par moteur asynchrone avec convertisseur de fréquence pour un ajustage de la vitesse de rotation
[5] pression d'entrée et de sortie (rapport de pression) ajustable par vanne
[6] instrumentation: 2 manomètres, débitmètre, capteurs de pression, de température, de vitesse de rotation, de couple (par force), de débit, affichage numérique de la puissance
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- vitesse de rotation: 465...975min^{-1}
- nombre de cylindres: 2
- course: 26mm
- alésage: 35mm
- cylindrée: 50cm^3

Moteur d'entraînement
- puissance: 550W
- vitesse de rotation: 0...975min^{-1}

Plages de mesure
- couple: 0...10Nm
- vitesse de rotation: 0...10000min^{-1}
- puissance: 0...600W
- température: 0...100°C, 0...200°C
- débit: 0,4...3,2Nm^3/h
- pression:
  - capteur de pression: -1...1,5bar / -1...24bar
  - manomètre: -1...9bar / -1...24bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1510x790x1750mm
Poids: env. 148kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

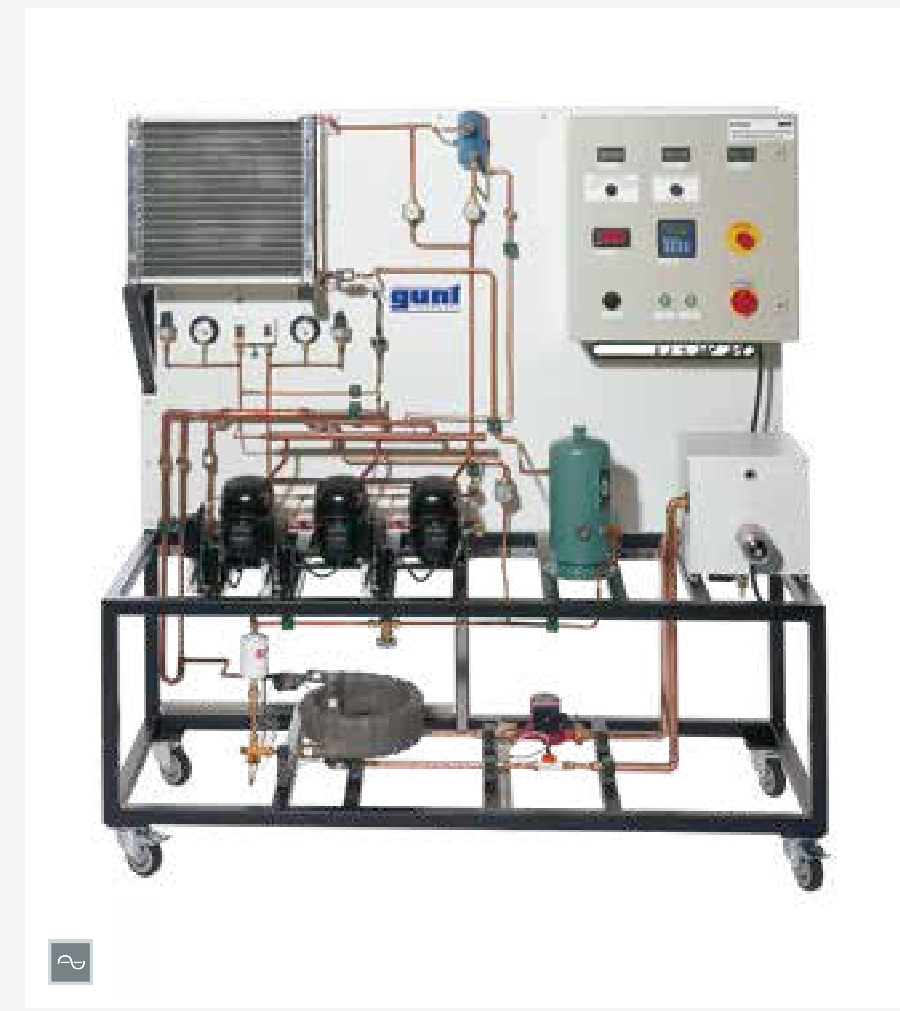
Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 428

Efficacité énergétique dans les installations frigorifiques



L'illustration montre un appareil similaire

Contenu didactique/essais

- paramètres de l'efficacité énergétique
  - paramètres du régulateur
  - surrefroidissement de l'agent réfrigérant
- fonctionnement en interconnexion des compresseurs
- fonction d'un régulateur combiné
- méthodes de retour d'huile dans une installation en interconnexion
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h

Description

- **installation frigorifique à trois compresseurs en fonctionnement en interconnexion**
- **adaptation optimale aux besoins de puissance par la connexion/déconnexion de compresseurs séparés**
- **régulateur industriel pour la connexion/déconnexion de compresseurs séparés**
- **échangeur de chaleur enclenchable pour surrefroidissement de l'agent réfrigérant**
- **observation du transport d'huile de lubrification dans le circuit d'agent réfrigérant**

L'utilisation efficace de l'énergie en génie frigorifique est un sujet important. Des besoins de puissance plus importants sont réalisés dans l'industrie grâce à un montage en parallèle de plusieurs petits compresseurs.

Cela permet une adaptation optimale aux besoins de puissance en connectant / déconnectant les compresseurs. Le ET 428 comporte à cet effet trois compresseurs montés en parallèle, qui peuvent être connectés ou déconnectés par un régulateur.

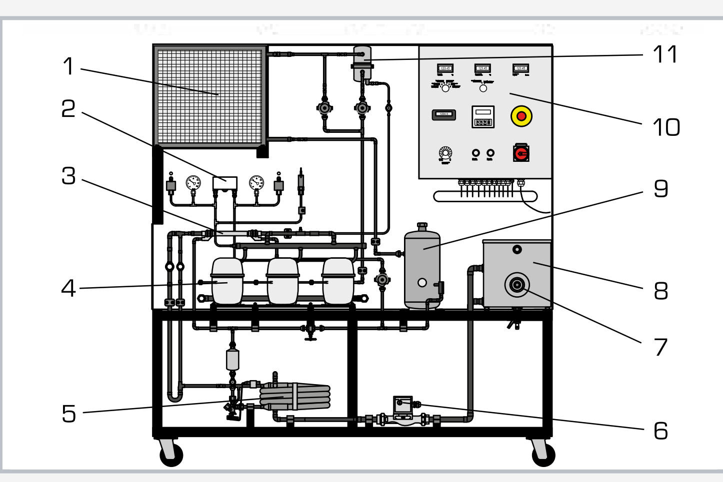
Les composants d'un circuit frigorifique avec trois compresseurs sont disposés de manière visible sur le banc d'essai. Un circuit eau glycolée avec pompe et réservoir avec dispositif de chauffage fait office de charge de refroidissement au niveau de l'évaporateur. Un échangeur de chaleur intérieur dans le circuit frigorifique permet l'étude de l'efficacité du processus de la surrefroidissement de l'agent réfrigérant. L'estimation quantitative de l'efficacité se produit par un bilan énergétique au niveau du circuit eau-glycolée et par la mesure de la puissance électrique sur le compresseur.

Afin de protéger les trois compresseurs, le circuit frigorifique est équipé d'un pressostat combiné pour le côté pression et aspiration. Afin de garantir une alimentation en huile sûre des trois compresseurs, un séparateur d'huile se trouve sur le côté pression du compresseur. L'huile séparée est ajouté aux compresseurs par le côté aspiration. L'observation de l'huile se fait grâce aux voyants placés sur les conduites correspondantes.

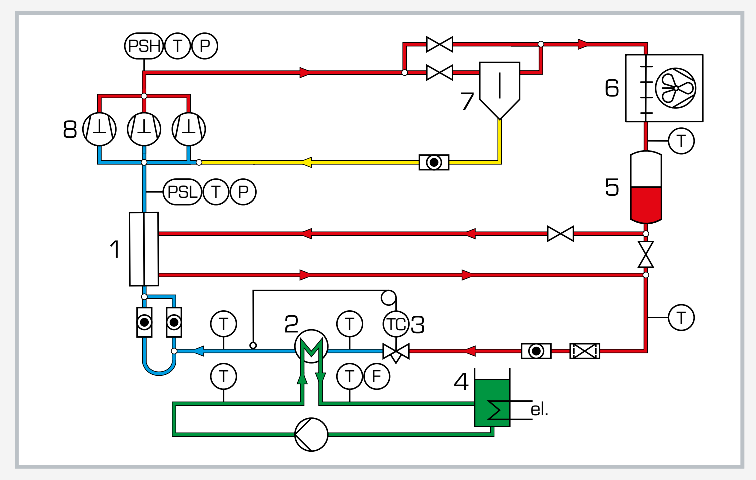
Les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par un capteur. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

ET 428

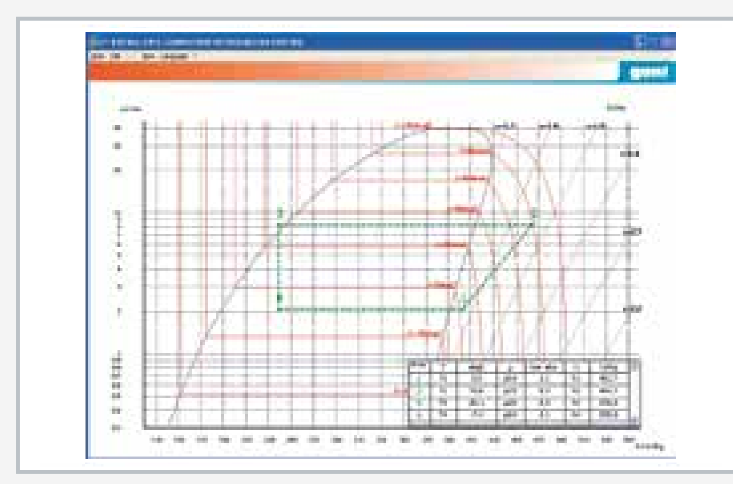
Efficacité énergétique dans les installations frigorifiques



1 condenseur, 2 pressostat, 3 échangeur de chaleur, 4 compresseur, 5 évaporateur, 6 pompe, 7 dispositif de chauffage, 8 réservoir de refroidissement (charge de refroidissement), 9 réservoir, 10 coffret de commande, 11 séparateur d'huile



1 échangeur de chaleur, 2 évaporateur, 3 soupape de détente, 4 réservoir de refroidissement avec dispositif de chauffage (charge de refroidissement), 5 réservoir, 6 condenseur, 7 séparateur d'huile, 8 compresseur; T température, P pression, F débit, PSH, PSL pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression, vert: retour d'huile



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] installation frigorifique en fonctionnement en interconnexion permettant d'étudier l'efficacité énergétique
[2] circuit frigorifique avec 3 compresseurs montés en parallèle, condenseur, vanne d'expansion thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur
[3] échangeur de chaleur enclenchable par vanne pour surrefroidissement de l'agent réfrigérant
[4] circuit eau glycolée avec pompe et réservoir avec dispositif de chauffage comme charge de refroidissement au niveau de l'évaporateur
[5] régulateur combiné pour fonctionnement en parallèle des compresseurs
[6] séparation de l'huile de l'agent réfrigérant sur le côté pression et retour vers le côté aspiration des compresseurs
[7] ventilateur du condenseur avec vitesse de rotation ajustable
[8] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[9] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseurs
- puissance frigorifique: chacun 1584W à -10°C/55°C
- puissance absorbée: chacun 1156W à -10°C/55°C

Condenseur avec ventilateur
- débit volumétrique d'air: 1250m^3/h

Pompe pour mélange eau glycolée
- débit de refoulement max.: 4,2m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 5,6m

Puissance du dispositif de chauffage: 3kW

Réservoir
- mélange eau glycolée: 23L
- réservoir du circuit frigorifique: 5,8L

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 4,2kg
- équivalent CO_2: 2,7t

Plages de mesure
- température: 4x 0...100°C, 4x -100°C...100°C
- pression: -1...9bar, -1...24bar
- débit: 1...25L/min (eau)
- puissance: 0...4995W (compresseur)

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1810x710x1920mm
Poids: env. 265kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



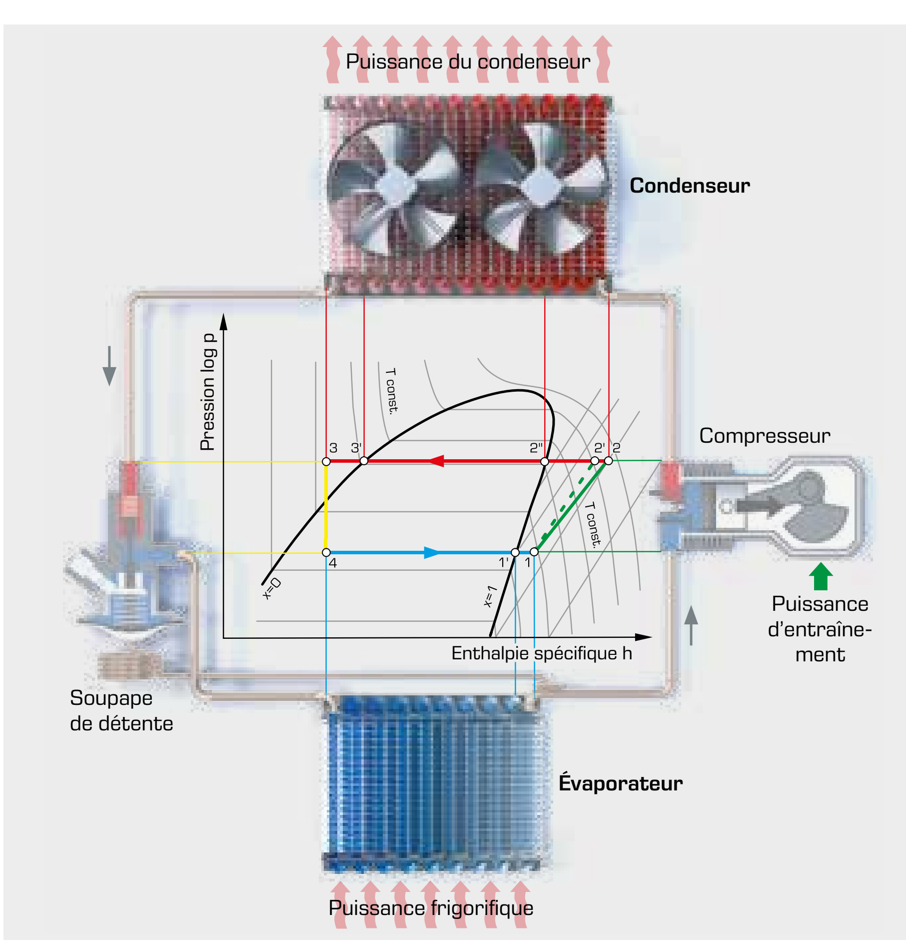
Connaissances de base

Échangeurs de chaleur utilisés dans le domaine du génie frigorifique comme évaporateur/condenseur

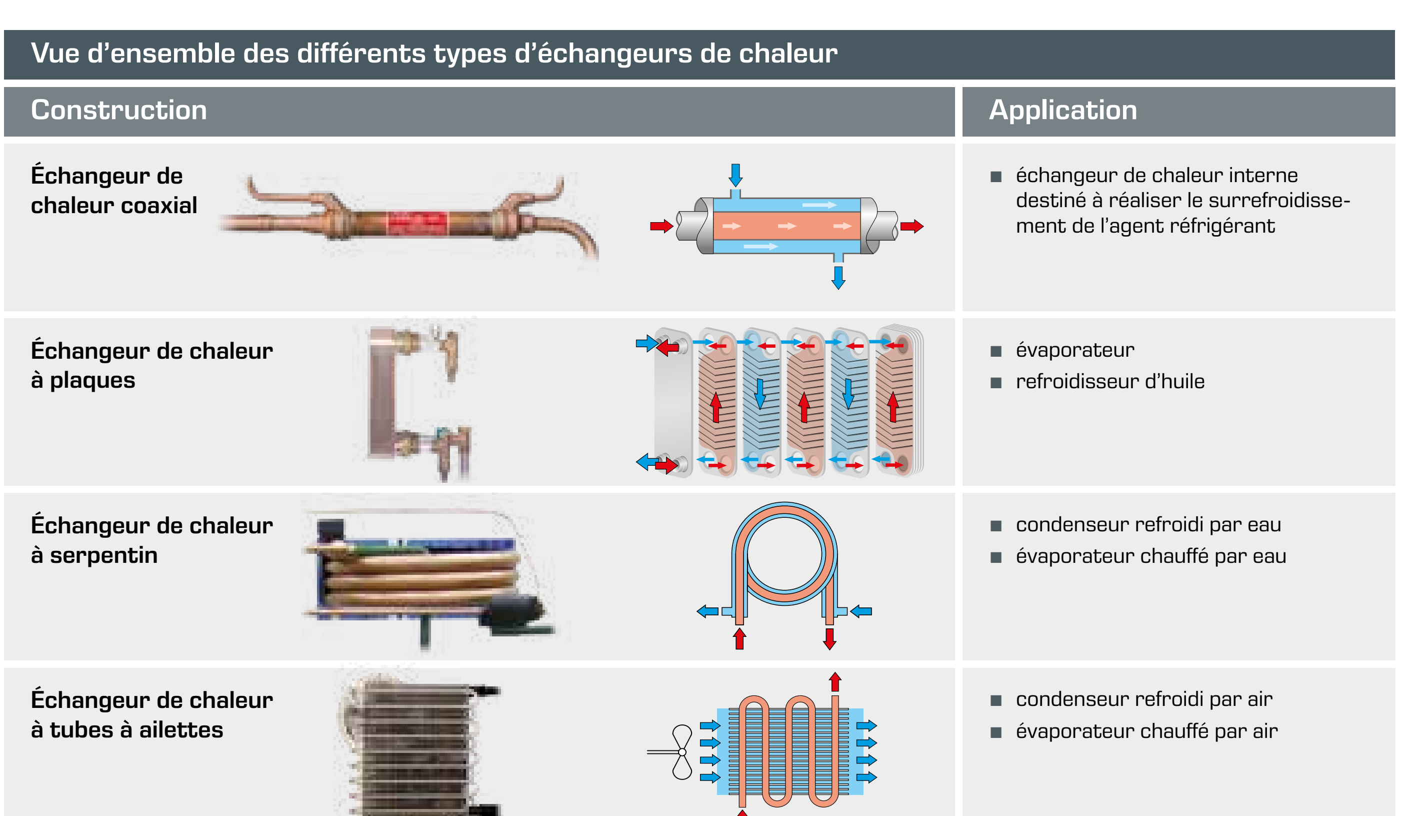
Par principe, des échangeurs de chaleur servent à transférer la chaleur d'une substance qui s'écoule vers une autre substance qui s'écoule, celle-ci ayant une température initiale plus faible. Les substances sont sous forme gazeuse ou sous forme liquide.

Le fait fondamental pour la transmission de chaleur, c'est la différence de température des deux fluides, cette différence comme écart agissant. Selon l'évolution du débit (par exemple contre-courant, courant parallèle), l'évolution de la différence de température peut être différente le long du trajet.

En génie frigorifique, les échangeurs de chaleur sont aussi bien utilisés comme **évaporateurs** que comme **condenseurs**. Dans les deux applications, l'agent réfrigérant subit une transition entre phases.

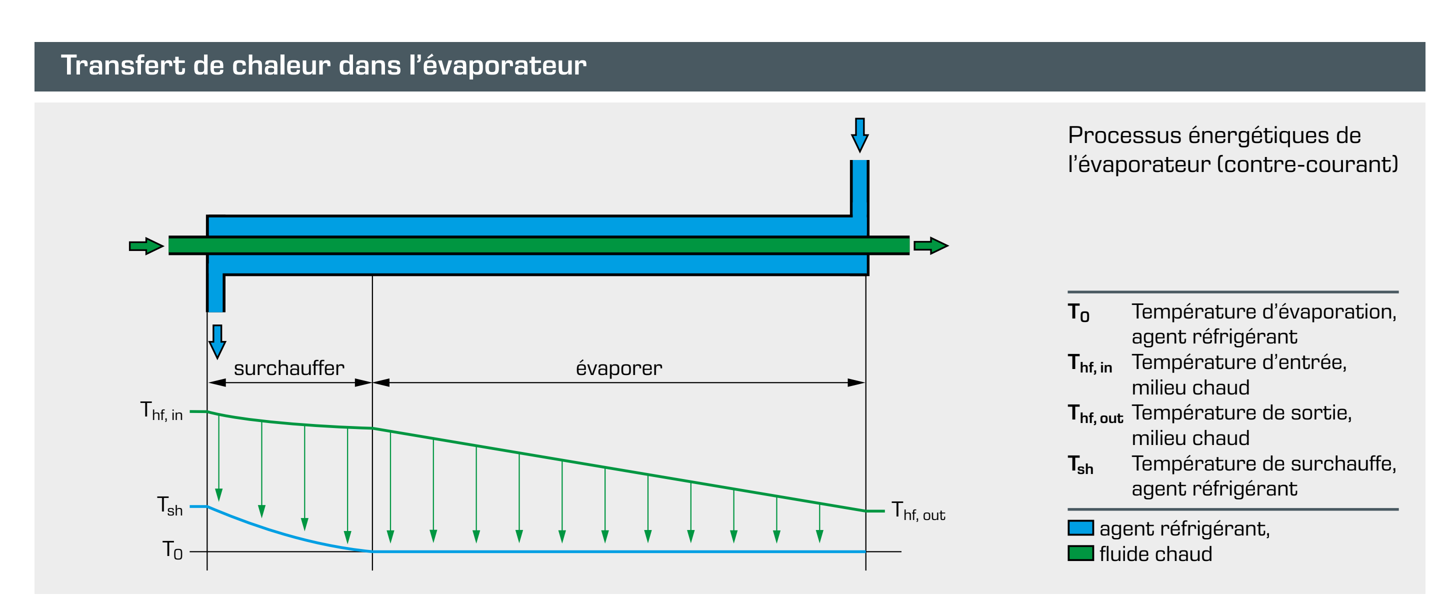


Vue d'ensemble des différents types d'échangeurs de chaleur



Construction	Application
Échangeur de chaleur coaxial	échangeur de chaleur interne destiné à réaliser le surrefroidissement de l'agent réfrigérant
Échangeur de chaleur à plaques	évaporateur refroidisseur d'huile
Échangeur de chaleur à serpentin	condenseur refroidi par eau évaporateur chauffé par eau
Échangeur de chaleur à tubes à ailettes	condenseur refroidi par air évaporateur chauffé par air

Transfert de chaleur dans l'évaporateur



Les processus énergétiques d'un évaporateur peuvent être classés en deux domaines.

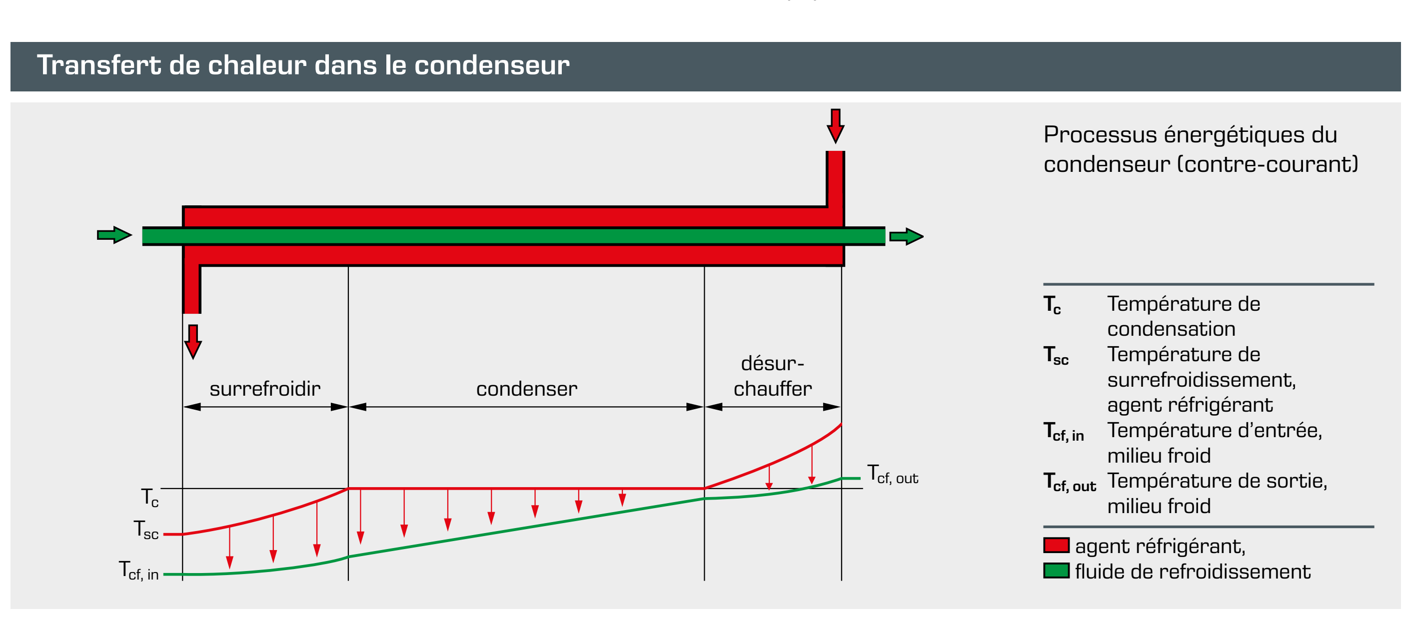
1. Évaporation

L'agent réfrigérant absorbe la chaleur du milieu à refroidir et s'évapore. Malgré l'absorption de chaleur, la température de l'agent réfrigérant reste constante. L'énergie absorbée est utilisée pour le changement de phase.

2. Surchauffe

L'agent réfrigérant, qui s'est déjà évaporé complètement, continue d'absorber de la chaleur et se réchauffe au cours du processus. De la vapeur d'agent réfrigérant surchauffée se trouve dans la sortie. Cette « surchauffe de travail » détermine le coefficient d'utilisation de l'évaporateur et peut être ajustée au moyen de la soupape de détente.

Transfert de chaleur dans le condenseur



Les processus énergétiques d'un condenseur correctement conçu peuvent être divisés en trois domaines différents.

1. Désurchauffage

L'agent réfrigérant surchauffé sous forme de vapeur est refroidi (désurchauffé) de la température de surchauffe à la température de condensation.

2. Condensation

L'agent réfrigérant libère en continu de la chaleur au fluide de refroidissement et se condense à pression et température constantes.

3. Surrefroidissement

L'agent réfrigérant déjà entièrement condensé continue de libérer de la chaleur dans le fluide de refroidissement. L'agent réfrigérant liquide est refroidi en dessous de la température de condensation.



ET 431
Échangeurs de chaleur dans le circuit frigorifique



Description

- **échangeur de chaleur typique en génie frigorifique**
- **différents fluides: air / agent réfrigérant, agent réfrigérant / agent réfrigérant et eau / agent réfrigérant**
- **influence de la surchauffe et du surrefroidissement de l'agent réfrigérant sur le cycle**

Les échangeurs de chaleur sont des composants élémentaires des installations frigorifiques. Lors du refroidissement, ceux-ci servent à l'absorption d'énergie de l'agent réfrigérant par évaporation. Lors du chauffage, ceux-ci libèrent l'énergie par condensation de l'agent réfrigérant. Ils ont aussi utilisés pour la transmission de l'énergie interne lors de la surchauffe ou du surrefroidissement de l'agent réfrigérant.

On fait la différence selon le type de fluides entre les échangeurs de chaleur air / agent réfrigérant, eau / agent réfrigérant et agent réfrigérant / agent réfrigérant. Selon la structure constructive, on fait encore la différence entre les échangeurs de chaleur coaxiaux, à tube à ailettes, à plaques ou à faisceau de tubes.

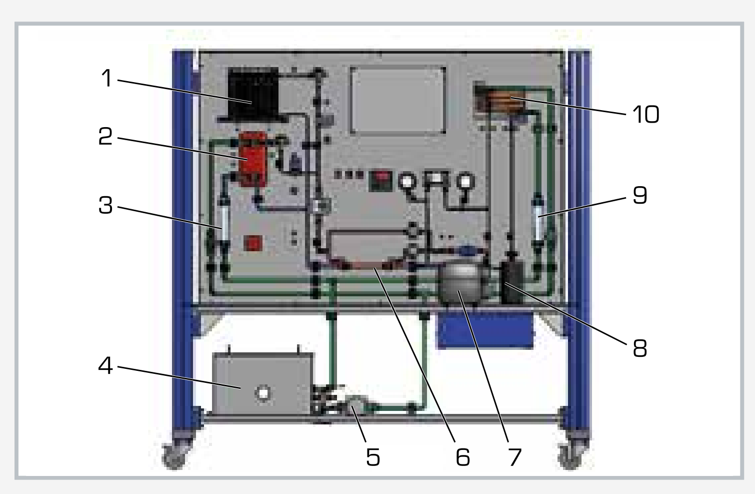
Le circuit frigorifique du banc d'essai ET 431 comporte comme évaporateur un échangeur de chaleur à tube à ailettes chauffé par air et un échangeur de chaleur à plaques chauffé par eau, un échangeur de chaleur coaxial comme surchauffeur et un échangeur de chaleur à serpentin refroidi par eau comme condenseur. Il s'agit là des types d'échangeurs de chaleur les plus utilisés en génie frigorifique qui remplissent différentes fonctions selon le type d'installation. De cette manière, un échangeur de chaleur à tube à ailettes peut par exemple servir de condenseur.

Les composants sont disposés de manière visible sur la face avant. Les flux énergétiques transmis peuvent ainsi être déterminés par la mesure des débits massiques et des températures d'entrée et de sortie.

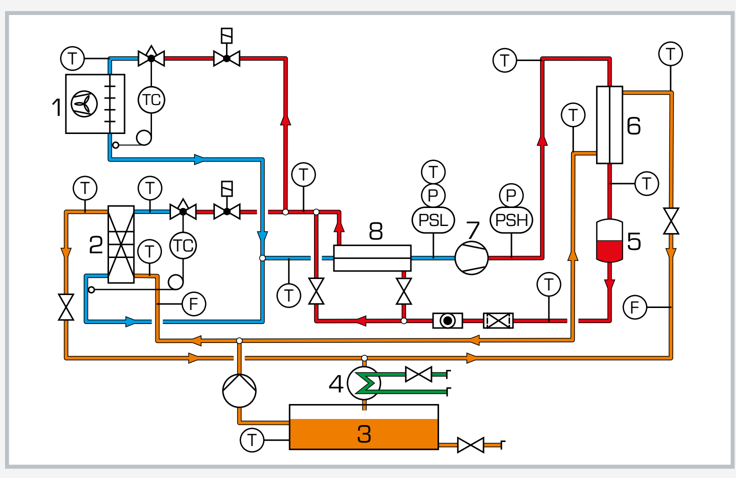
Contenu didactique / essais

- différents échangeurs de chaleur et leur utilisation en génie frigorifique
  - échangeur de chaleur à serpentin
  - échangeur de chaleur à tubes à ailettes
  - échangeur de chaleur coaxial
  - échangeur de chaleur à plaques
- découvrir le bon emplacement de montage
- déterminer les flux énergétiques
- influence de la surchauffe et du surrefroidissement de l'agent réfrigérant sur le cycle
- structure d'une installation frigorifique à compression
- représentation du cycle sur le diagramme log p,h

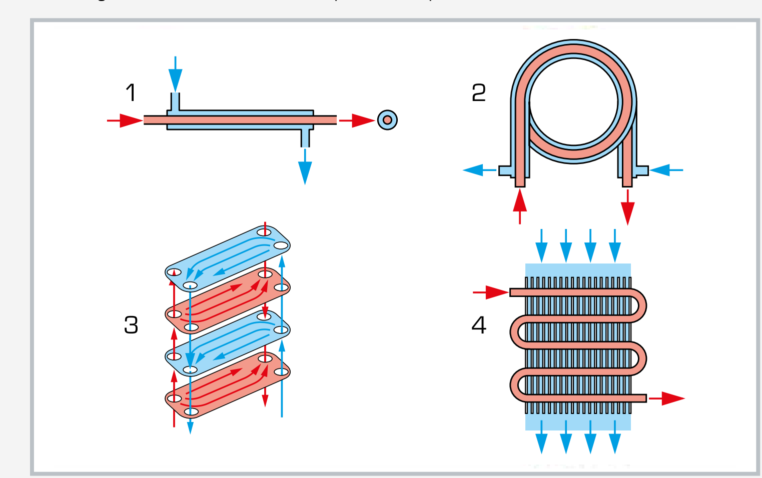
ET 431
Échangeurs de chaleur dans le circuit frigorifique



1 échangeur de chaleur à tube à ailettes comme évaporateur, 2 échangeur de chaleur à plaques comme évaporateur, 3 débitmètre eau de chauffage, 4 réservoir d'eau, 5 pompe à eau, 6 échangeur de chaleur coaxial comme surchauffeur, 7 compresseur, 8 réservoir, 9 débitmètre eau de refroidissement, 10 échangeur de chaleur à serpentin comme condenseur



1 échangeur de chaleur à tube à ailettes, 2 échangeur de chaleur à plaques, 3 réservoir, 4 refroidisseur à eau, 5 réservoir, 6 échangeur de chaleur à serpentin, 7 compresseur, 8 échangeur de chaleur coaxial; T température, P pression, F débit



1 échangeur de chaleur coaxial, 2 échangeur de chaleur à serpentin, 3 échangeur de chaleur à plaques, 4 échangeur de chaleur à tube à ailettes

Spécification

[1] installation frigorifique disposant de 4 échangeurs de chaleur différents: échangeur de chaleur à serpentin, échangeur de chaleur à tubes à ailettes, échangeur de chaleur coaxial, échangeur de chaleur à plaques
[2] différentes combinaisons de fluides: eau / agent réfrigérant, agent réfrigérant / agent réfrigérant, air / agent réfrigérant
[3] circuit d'eau avec réservoir et pompe pour refroidir le condenseur et chauffer l'évaporateur
[4] surchauffeur désactivable par dérivation (bypass)
[5] débitmètre et thermomètre dans le circuit d'eau pour déterminer les flux énergétiques échangés
[6] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[7] thermomètres sur tous les points pertinents de l'installation
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 1308W à 7,2/54,4°C
- puissance absorbée: 514W à 7,2/54,4°C

Réservoir
- 1,3L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1,3kg
- équivalent CO_2: 0,8t

Plages de mesure
- pression: -1...9bar / -1...24bar
- température: 12x -5...105°C, 1x 0...60°C
- débit: 2x 20...250L/h (eau)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1900x800x1900mm
Poids: env. 255kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



ET 405
Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



Description

- **pompe à chaleur air-eau**
- **modes de chauffage et de refroidissement possibles**
- **rapport pratique élevé dû à l'utilisation de composants industriels du génie frigorifique**
- **différents modes de fonctionnement ajustables par électrovannes**

Les installations frigorifiques et les pompes à chaleur se différencient seulement dans la définition d'utilisation, mais peuvent être conçues de la même manière. Les marchandises dans un supermarché peuvent être refroidies et chauffées avec la chaleur perdue de l'espace de vente. Il est également possible de refroidir l'espace de vente en été avec la même installation.

Il est possible d'étudier le mode de chauffage et de refroidissement avec l'ET 405. Différents modes de fonctionnement peuvent être sélectionnés par électrovannes.

Le circuit frigorifique avec compresseur et condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur) contient deux évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation) et des soupapes de détente thermostatiques. Les deux évaporateurs peuvent être montés en parallèle ou en série. Un tube capillaire fait office d'élément d'expansion pour le montage en série à l'évaporateur de niveau de refroidissement normal. Le circuit de l'agent réfrigérant est lié à un circuit d'eau glycolée par l'échangeur de chaleur à serpentin. L'échangeur de chaleur à serpentin peut être commuté comme évaporateur ou condenseur grâce aux électrovannes. Le mélange d'eau glycolée dans le réservoir peut ainsi être chauffé ou refroidi. En mode de refroidissement pur (sans fonction de chauffage), l'échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur reprend la dissipation de la chaleur. Cet échangeur peut aussi être commuté comme évaporateur grâce aux électrovannes.

Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel permet une représentation claire du processus.

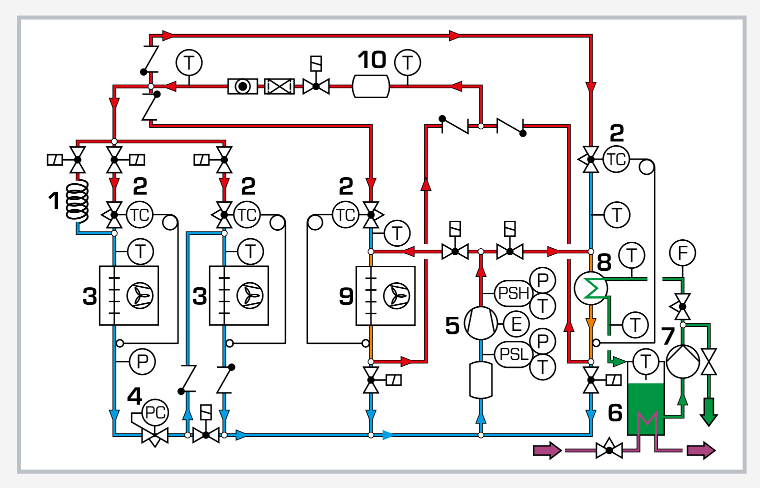
Contenu didactique/essais

- structure, fonctionnement et composants essentiels d'une pompe à chaleur ou d'une installation frigorifique
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- comparaison de différents modes de fonctionnement
- mesure de la puissance du compresseur, et de la puissance calorifique et de refroidissement du circuit d'eau glycolée
- détermination de
  - rendement
  - coefficient de performance de la pompe à chaleur et de l'installation frigorifique
  - travail spécifique du compresseur
  - rapport de pression de compresseur
  - puissance de refroidissement spécifique
  - puissance frigorifique spécifique
- comparaison des grandeurs caractéristiques pompe à chaleur-installation frigorifique

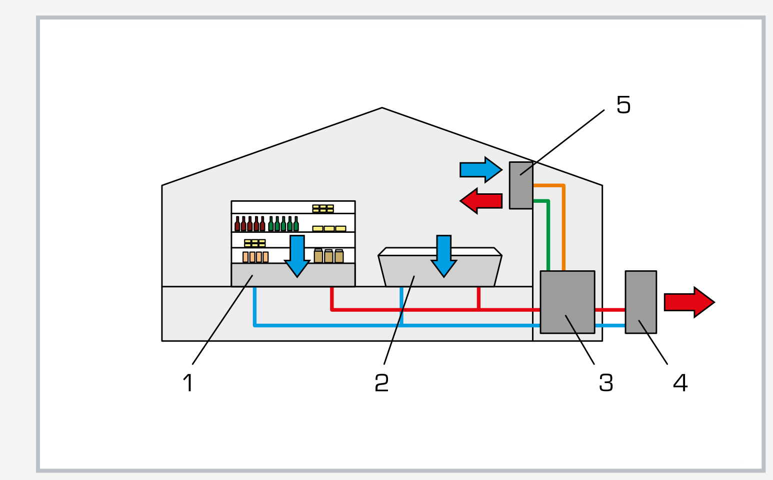
ET 405
Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



1 évaporateur, 2 soupape de détente, 3 tube capillaire, 4 évaporateur (congélation), 5 régulateur de pression d'évaporation, 6 compresseur, 7 réservoir, 8 échangeur de chaleur avec ventilateur, 9 pompe, 10 éléments d'affichage et de commande, 11 réservoir pour mélange d'eau glycolée, 12 débitmètre (eau glycolée), 13 électrovanne, 14 échangeur de chaleur à serpentin



1 tube capillaire, 2 soupape de détente, 3 évaporateur, 4 régulateur de pression d'évaporation, 5 compresseur, 6 réservoir pour eau glycolée, 7 pompe, 8 échangeur de chaleur à serpentin, 9 échangeur de chaleur avec ventilateur, 10 réservoir; T température, P pression, F débit, PSH, PSL pressostat



Utilisation en supermarché: 1 meubles de refroidissement, 2 congélateur, 3 pompe à chaleur, 4 condenseur externe, 5 convecteur pour chauffer ou refroidir l'espace de vente

Spécification

[1] différents modes de fonctionnement pouvant être sélectionnés par électrovannes
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur), 2 évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation)
[3] circuit d'eau glycolée avec réservoir, pompe et échangeur de chaleur à serpentin
[4] échangeur de chaleur à serpentin et échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur ou évaporateur, utilisables dans le circuit frigorifique
[5] 1 soupape de détente thermostatique pour chaque échangeur de chaleur et pour chaque évaporateur
[6] en plus, 1 régulateur de pression de compression et 1 tube capillaire pour l'évaporateur (refroidissement normal)
[7] affichages de température, pression, débit et puissance absorbée du compresseur
[8] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 1561W à 5/40°C
- puissance absorbée: 759W à 5/40°C

Échangeur de chaleur avec ventilateur
- surface de transfert: 1,25m²
- débit volumétrique d'air: 650m³/h

Évaporateurs avec ventilateur
- niveau de refroissement normal surface de transfert: 1,21m², débit volumétrique d'air: 80m³/h
- niveau de refroissement de congélation surface de transfert: 3,62m², débit volumétrique d'air: 125m³/h

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 1,5kg
- équivalent CO_2: 0,9t

Plages de mesure
- température: 11x -50...150°C
- pression: 2x -1...15bar, 1x -1...24bar
- débit: 2,5...65g/s
- puissance: 0...1150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2210x800x1900mm
Poids: env. 330kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

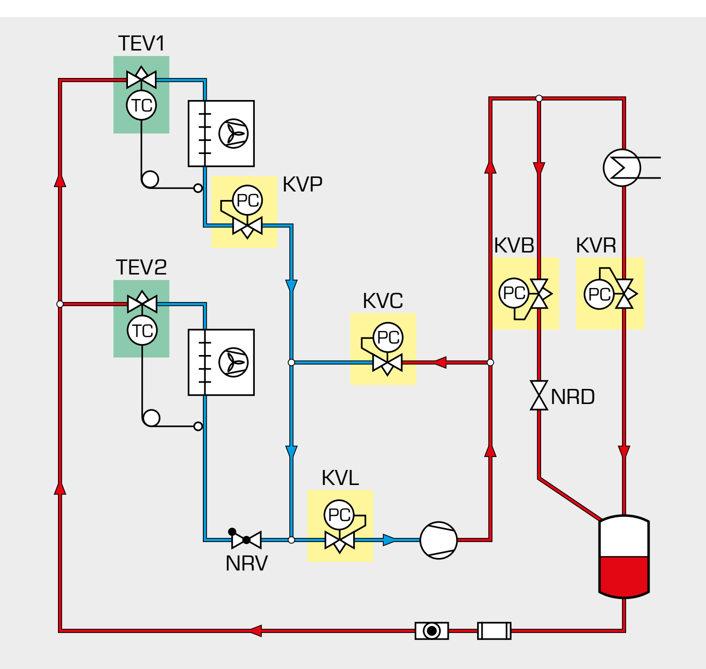
Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

Connaissances de base

Régulateurs primaires et secondaires en génie frigorifique

Les régulateurs primaires et secondaires règlent le flux de l'agent réfrigérant dans le circuit frigorifique. Dans le cadre de cette démarche, le flux de l'agent réfrigérant doit correspondre aux contraintes en termes de puissance. Si on a donc besoin d'une plus grande puissance frigorifique, parce que l'on entrepose par exemple des denrées réfrigérées fraîches dans la chambre de refroidissement, il faut faire s'évaporer une plus grande quantité d'agent réfrigérant. Il convient en outre d'utiliser des régulateurs, ceux-ci garantissant que tous les composants utilisés dans le circuit frigorifique, comme l'évaporateur, le condenseur et le compresseur soient utilisés dans leur domaine de pression et de température optimal. Il n'y a qu'ainsi que l'on puisse garantir que l'installation frigorifique soit utilisée d'une manière sûre et rentable.



Circuit frigorifique avec des régulateurs primaires et secondaires

régulateur primaire, régulateur secondaire, **KVP** régulateur de pression d'évaporation, **KVR** régulateur de pression de condensation, **KVL** régulateur de démarrage, **KVC** régulateur de puissance, **KVD** régulateur de pression de collecteur, **NRD, NRV** soupape de retenue, **SGN** voyant, **DN** filtre / sécheur, **AEV** soupape automatique de détente régulée par pression, **TEV** soupape de détente thermostatique

Régulateurs primaires

On en distingue quatre types:

- tube capillaire
- soupape de détente régulée par pression
- soupape de détente thermostatique
- soupape de détente électronique

En langage technique, les régulateurs primaires sont également désignés par la notion d'élément d'expansion. Ils règlent directement la puissance de l'évaporateur via le flux d'agent réfrigérant injecté.

Tube capillaire

Dans les petits installations tels que les réfrigérateurs, les tubes capillaires sont souvent utilisés comme éléments d'expansion. Le tube capillaire est un tube de cuivre de très petit diamètre intérieur. L'effet de l'élément d'expansion est ajusté de manière expérimentale par la longueur du tube capillaire.

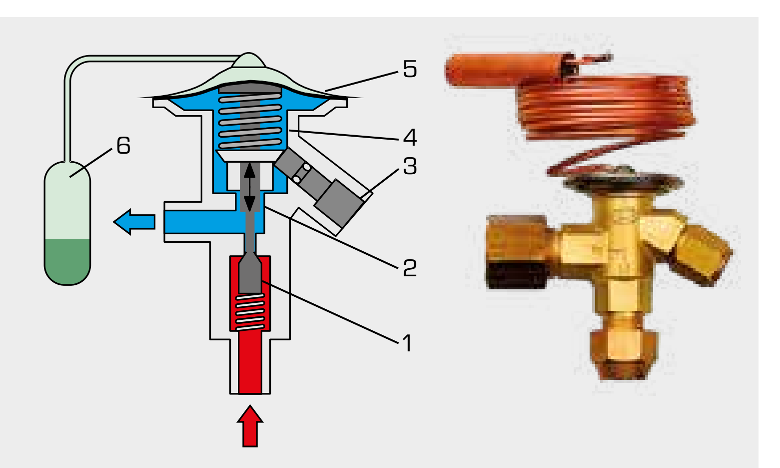
Les systèmes de tubes capillaires ne contiennent pas de collecteur et la quantité d'agent réfrigérant est parfaitement adaptée à l'installation.



Soupape de détente thermostatique

La plupart du temps, on utilise la soupape de détente thermostatique (TEV). La TEV compare la température de l'agent réfrigérant survenant à la sortie de l'évaporateur avec la température d'entrée. La TEV assure la surchauffe de l'agent réfrigérant à la sortie de l'évaporateur. Dans l'idéal, la TEV introduit dans l'évaporateur la quantité maximale possible d'agent réfrigérant pouvant être encore complètement évaporée. Il est important qu'aucun agent réfrigérant liquide ne sorte de l'évaporateur, puisque ceci est susceptible d'entraîner de graves endommagement du compresseur.

Il est possible d'ajuster le degré de surchauffe via la prétension du ressort à membrane.



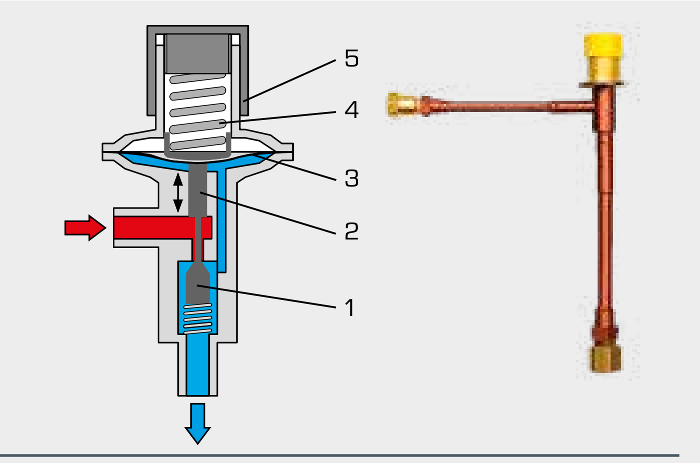
1 fourrure de buse avec cône de soupape, **2** coulisseau de presse, **3** vis d'ajustage, **4** ressort à membrane, **5** membrane, **6** sonde de température

Soupape de détente régulée par pression

Dans le cas de la soupape de détente régulée par pression (AEV), la pression dans l'évaporateur et ainsi la température de l'évaporation est maintenue constante grâce à l'arrivée d'agent réfrigérant. Ceci est par exemple important si les denrées réfrigérées sont directement en contact avec la surface de l'évaporateur.

Dans le cas d'une soupape de détente régulée par pression, l'inconvénient consiste en ce qu'une quantité d'agent réfrigérant puisse éventuellement quitter l'évaporateur. Pour cette raison, il n'est utilisé que dans le cadre d'applications spéciales.

La pression de l'évaporation est ajusté via la prétension du ressort à membrane.

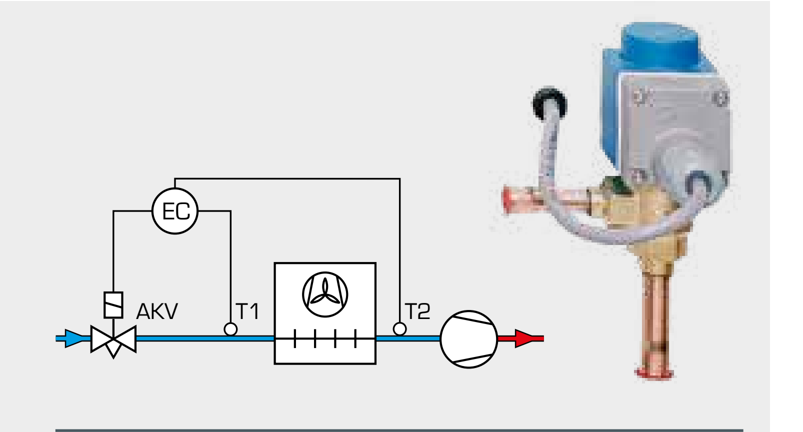


1 fourrure de buse avec cône de soupape, **2** coulisseau de presse, **3** membrane, **4** ressort à membrane, **5** capuchon mobile

Soupape de détente électronique

La soupape de détente électronique est le dispositif le plus flexible. Ici plusieurs influences peuvent simultanément diriger le flux d'agent réfrigérant. La électronique doit cependant être commandée par un appareil de commande numérique complexe et en raison de la quantité élevée d'effort demandé, elle peut uniquement être utilisée de manière rentable dans de grandes installations.

Lors de l'entraînement du cône de soupape, on fait une distinction entre un entraînement moteur et un entraînement électromagnétique.



Soupape de détente électronique **(AKV)** avec appareil de commande **(EC)** et deux sondes de température: **T1** détermination de la pression d'évaporation et **T2** pour mesurer la surchauffe

Connaissances de base

Régulateurs primaires et secondaires en génie frigorifique

Régulateurs secondaires

Dans le cas des régulateurs de pression, on distingue les types suivants:

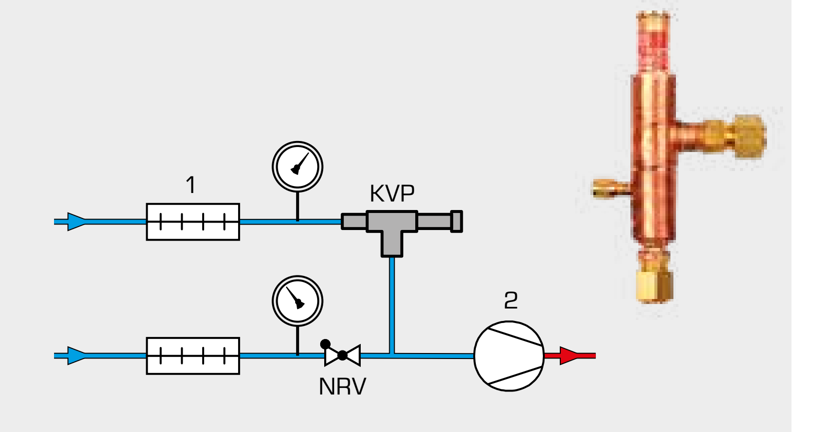
- le régulateur de pression d'évaporation KVP
- le régulateur de pression de condensation KVR
- le régulateur de démarrage KVL
- le régulateur de puissance KVC
- le régulateur de pression de collecteur KVD

(initialement KVP, KVR, KVL, KVC, KVD, NRV sont des appellations de types de la société Danfoss qui entretemps ont été intégrées dans le langage du génie frigorifique.)

Les régulateurs secondaires assurent des conditions de travail optimales pour différents composants du circuit frigorifique. Il s'agit pour l'essentiel de régulateurs de pression qui selon les missions maintiennent la pression d'entrée, la pression de sortie ou la pression différentielle au niveau souhaité. Les régulateurs de température et les régulateurs électroniques de puissance font partie des régulateurs secondaires.

Régulateur de pression d'évaporation

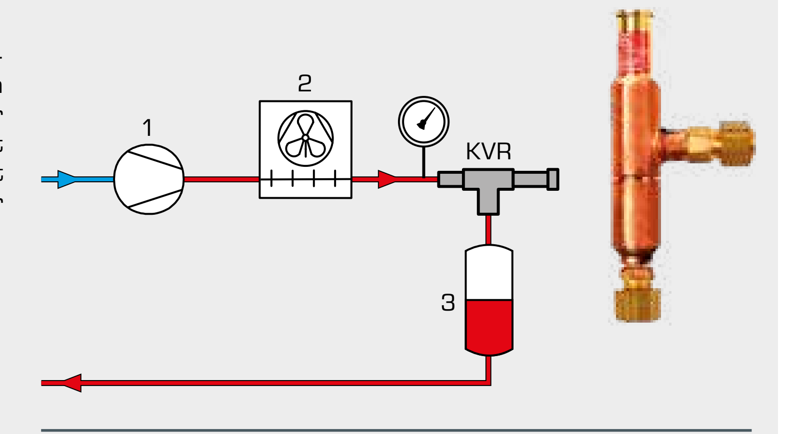
Via le régulateur de pression d'évaporation KVP, la pression et ainsi la température de l'agent réfrigérant est ajustée dans l'évaporateur. Le KVP est souvent utilisé pour fournir des niveaux de température ou de pression (niveau de refroidissement normal et niveau de congélation) avec le même compresseur.



1 échangeur de chaleur, **2** compresseur,
KVP régulateur de pression de l'évaporation, **NRV** soupape de retenue

Régulateur de pression de condensation

Le régulateur de pression de condensation KVR maintient une pression minimale dans le condenseur. On utilise le KVR dans le cas de condenseurs refroidis par air à l'extérieur. En raison d'une accumulation d'agent réfrigérant liquide, les températures ambiantes étant faibles, on réduit la surface de transmission de chaleur opérative. Ainsi la puissance du condenseur diminue.

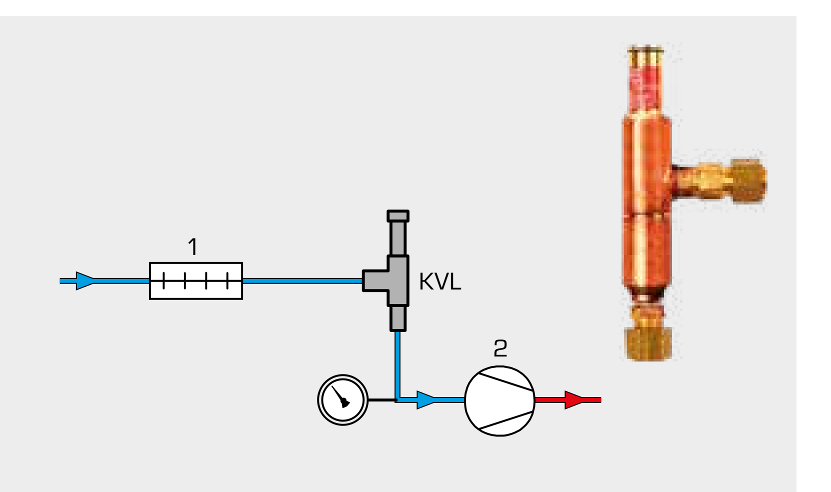


1 compresseur, **2** échangeur de chaleur, **3** collecteur,
KVR régulateur de pression de la condensation

Régulateur de démarrage

Un régulateur de démarrage (KVL) ou régulateur de pression d'aspiration empêche que le compresseur fonctionne à une pression d'aspiration trop élevée. La pression d'aspiration la plus élevée apparaît au démarrage de l'installation frigorifique. Afin de protéger le moteur d'entraînement de la surcharge, il est recommandé de réduire la pression d'aspiration devant le compresseur.

Pour le dimensionnement des installations frigorifiques, l'intégration de régulateurs de pression d'aspiration permet d'utiliser un moteur d'entraînement relativement petit pour le compresseur, étant donné que cela évite d'avoir des pressions d'aspiration trop élevées au démarrage de l'installation frigorifique.

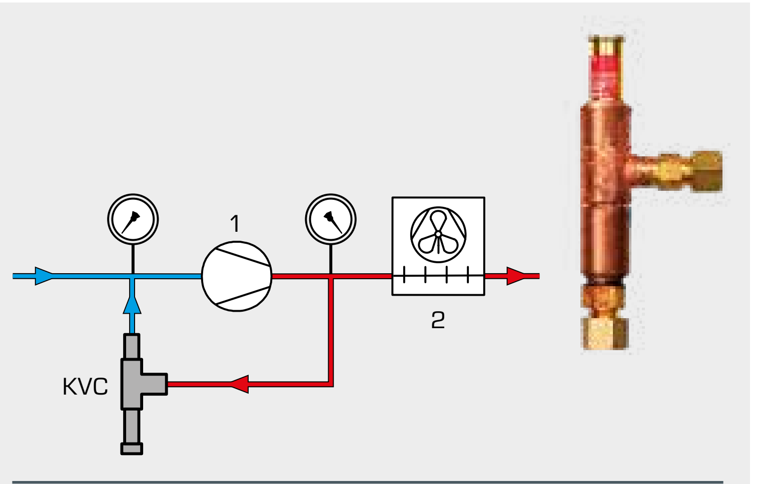


1 échangeur de chaleur, **2** compresseur, **KVL** régulateur de démarrage

Régulateurs de puissance

Le régulateur de puissance KVC réduit le débit de refoulement du compresseur en cas de faible puissance frigorifique et est toujours utilisé lorsque l'on s'attend à des conditions de fonctionnement avec une faible charge thermique. Le KVC limite la pression d'aspiration minimale et empêche le déclenchement du pressostat basse pression. On évite ainsi des marches/arrêts et une charge mécanique élevée du compresseur.

Si la pression d'aspiration est trop faible, le KVC achemine une partie du débit de refoulement via une dérivation vers la conduite d'aspiration.

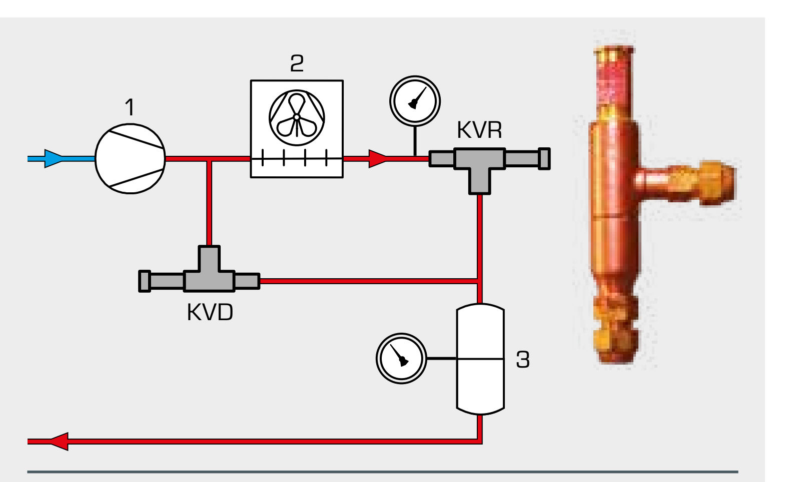


1 compresseur, **2** échangeur de chaleur, **KVC** régulateur de puissance

Régulateur de pression de collecteur

En combinaison avec un régulateur de pression de condensation KVR, le régulateur de pression de collecteur KVD empêche une pression trop faible du collecteur, celle-ci ayant pour conséquence une évaporation partielle dans les conduites de liquides de l'installation frigorifique.

À cette fin, le KVD achemine une faible quantité d'agent réfrigérant sous forme de vapeur directement de la sortie du compresseur dans le collecteur.



1 compresseur, **2** échangeur de chaleur, **3** collecteur, **KVD** régulateur de pression de collecteur, **KVR** régulateur de pression de condenseur



ET 426
Régulation de puissance dans des installations frigorifiques



L'illustration montre un appareil similaire

Contenu didactique/essais

- connaitre les dispositifs essentiels de modification de la puissance frigorifique
  - thermostat
  - régulateur de pression d'évaporation
  - régulateur de réfrigération
  - régulateur de puissance
  - compresseur à vitesse de rotation variable
- commande d'un régulateur à position de refroidissement avec instruction de température pour la
  - régulation de puissance frigorifique
  - connexion/déconnexion du chauffage de dégivrage
  - connection/déconnection du ventilateur

Description

- **étude des différentes méthodes de régulation de puissance**
- **compresseur ouvert à vitesse de rotation variable**
- **charge de refroidissement ajustable par dispositif de chauffage**
- **dégivrage régulé avec instruction de températures**

La régulation efficace de puissance et de température dans les installations frigorifiques est un sujet important en génie frigorifique. Différentes méthodes de régulation de puissance peuvent être étudiées avec le ET 426. Un circuit frigorifique à deux chambres de refroidissement est à disposition à cet effet pour lequel une charge de refroidissement est produite à l'aide d'un dispositif de chauffage ajustable. Les ventilateurs dans les deux chambres de refroidissement se chargent d'une répartition uniforme de la chaleur.

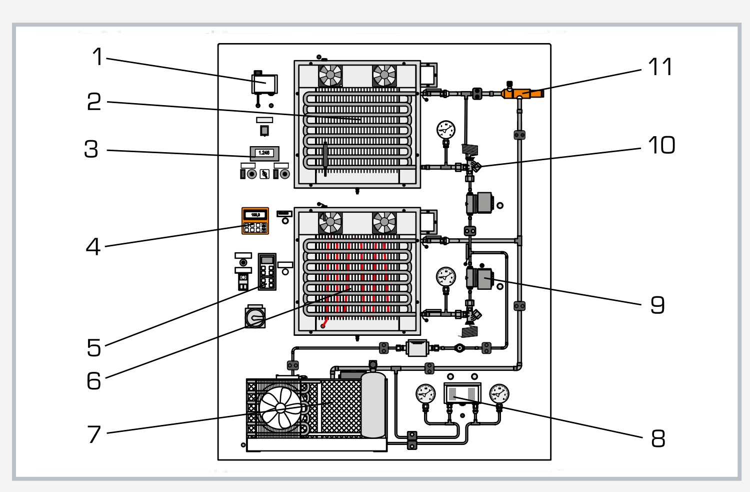
Dans la première chambre de refroidissement, un thermostat avec électrovanne et un régulateur de pression d'évaporation régulent la pression de l'agent réfrigérant dans l'évaporateur et ainsi la température.

Les capteurs mesurent la température dans la deuxième chambre de refroidissement et la température de l'agent réfrigérant avant et après l'évaporateur. Un régulateur de réfrigération traite les signaux des capteurs. Le régulateur de réfrigération modifie le débit d'agent réfrigérant grâce à une électrovanne et régule ainsi la température dans la deuxième chambre de refroidissement. En outre, les températures sont ajustées sur le régulateur de réfrigération pour lesquels les ventilateurs et le chauffage de dégivrage sont activés ou désactivés.

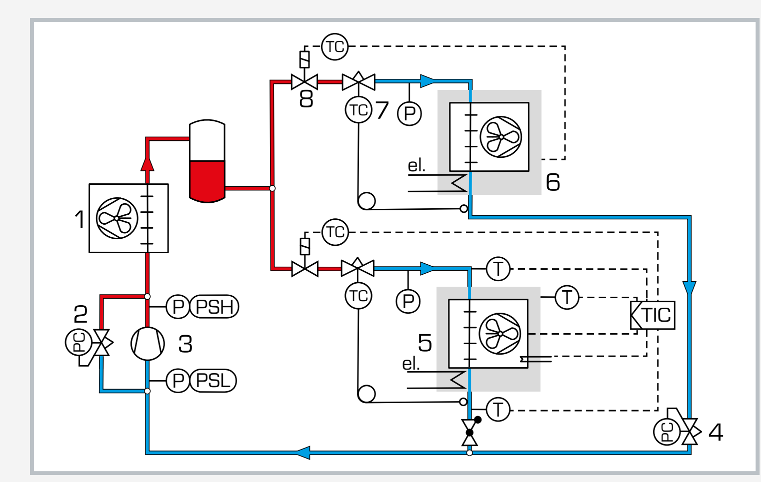
Par ailleurs, il est possible d'ajuster la puissance frigorifique de l'ensemble du circuit frigorifique au moyen de la vitesse de rotation du compresseur. Il existe en plus la possibilité d'ajuster la puissance frigorifique sur un régulateur de puissance au niveau sur la dérivation (bypass) du compresseur.

Les deux chambres de refroidissement possèdent des fenêtres permettant d'observer le fonctionnement des ventilateurs et la formation de glace. Les manomètres permettent de relever facilement les pressions sur les points de mesure pertinents.

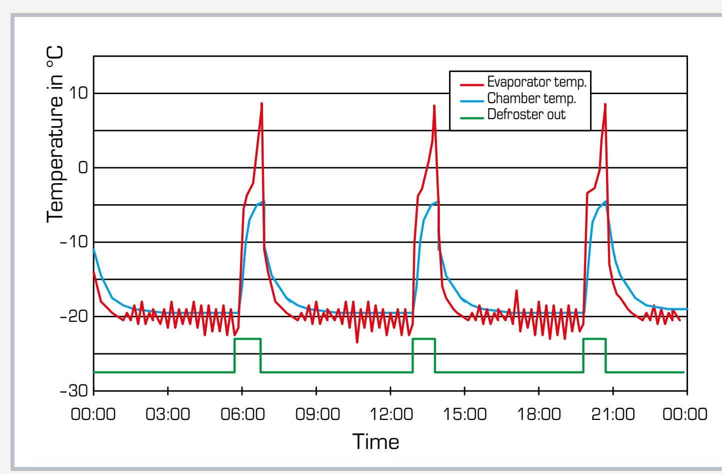
ET 426
Régulation de puissance dans des installations frigorifiques



1 thermostat, 2 chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage, ventilateur, 3 éléments de commande pour dispositif de chauffage, 4 régulateur de réfrigération, 5 éléments de commande pour compresseur, 6 chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage, ventilateur, chauffage de dégivrage, 7 compresseur et condenseur, 8 commutateur combiné, 9 électrovanne, 10 soupape de détente, 11 régulateur de pression d'évaporation



1 condenseur, 2 régulateur de puissance, 3 compresseur, 4 régulateur de pression d'évaporation, 5 chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage, ventilateur, chauffage de dégivrage, 6 chambre de refroidissement avec dispositif de chauffage, ventilateur, 7 soupape de détente, 8 électrovanne avec thermostat; T température, P pression; PSH, PSL pressostat, TIC régulateur de réfrigération



Évolution de temps d'une commande de dégivrage (vert) avec température d'évaporateur (rouge) et température de la chambre de refroidissement (bleu)

Spécification

[1] méthodes de régulation de puissance dans le cas des installations frigorifiques
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur et 2 évaporateurs dans des chambres de refroidissement isolées
[3] chaque chambre de refroidissement dispose d'un dispositif de chauffage ajustable pour la production d'une charge de refroidissement, d'une soupape de détente thermostatique et d'un ventilateur
[4] 1 chambre de refroidissement avec régulateur de réfrigération pour la régulation de température; électrovanne, ventilateur et chauffage de dégivrage comme actionneurs
[5] 1 chambre de refroidissement avec thermostat, électrovanne et régulateur de pression d'évaporation pour la régulation de température
[6] compresseur à vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence
[7] régulateur de puissance dans la dérivation du compresseur
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: env. 560W à -5/25°C et 1450min^{-1}
- moteur d'entraînement: 550W

2 dispositifs de chauffage: env. 500W
4 ventilateurs: débit volumétrique d'air max.: env. 36,5m^3/h
1 chauffage de dégivrage électrique: env. 75W
Régulateur des positions de refroidissement
- 3 entrées
- 3 sorties

Régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar
Thermostat: -5...20°C
Régulateur de puissance: 0,2...6bar
Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1kg
- équivalent CO_2: 0,6t

Plages de mesure
- vitesse de rotation: 465...975min^{-1} compresseur
- température: 3x -60...50°C
- puissance: 2x 0...1000W dispositif de chauffage
- pression: 3x -1...9bar; 1x -1...24bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1100x750x1900mm
Poids: env. 150kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique



ET 180
Pressostats en génie frigorifique



Description

- **acquérir une connaissance de spécialiste du génie frigorifique par des exercices pratiques**
- **vérification et ajustage des pressostats en génie frigorifique**
- **structure visible sur la face avant**
- **affichage des états de commutation par des lampes**
- **propre production de pression par compresseur**

Il est possible de démontrer le fonctionnement de ce qu'on appelle les pressostats utilisés en génie frigorifique à l'aide de cet appareil d'essai.

Les pressostats servent à protéger le compresseur et les parties de l'installation des pressions trop hautes ou trop basses. Ils sont aussi utilisés dans un arrêt par "Pump-down" pour la déconnexion du compresseur. Selon le cas d'utilisation, certains pressostats uniques ou pressostats combinés sont utilisés pour la haute et basse pression.

Des pressostats pour la surveillance de les pressiones sont disponibles. Les états de commutation sont affichés par des lampes de signalisation. Les seuils de commutation et hystérésis peuvent être ajustés par les apprentis. Il est ainsi permis d'étudier et de comprendre le comportement de commutation du pressostat. Un compresseur d'agent réfrigérant typique produit les pressions de contrôle. Les manomètres affichent les pressions. L'air est utilisé comme agent de pressurisation. Un fonctionnement sans danger des pressostats est réalisé à 24V.

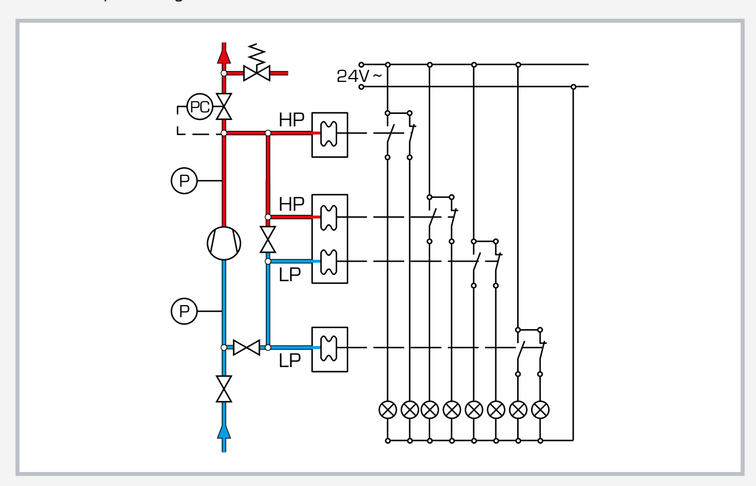
Contenu didactique/essais

- acquérir une connaissance de spécialiste du génie frigorifique par des exercices pratiques
- fonction d'un pressostat
- différence entre pressostat basse et haute pression
- différence entre contacts à ouverture et à fermeture d'un commutateur
- ajuster le seuil de commutation
- ajuster la différence de commutation
- enregistrer le comportement de commutation du pressostat en fonction de la pression

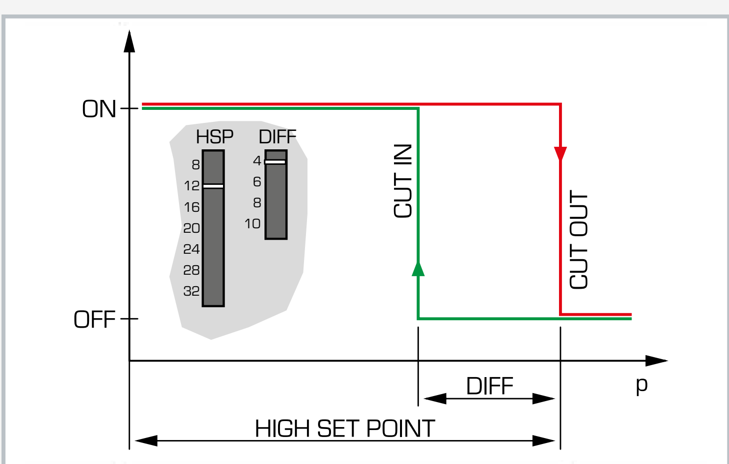
ET 180
Pressostats en génie frigorifique



1 éléments de commande, 2 compresseur, 3 réservoir, 4 ventilateur, 5 soupape de dégagement d'air, 6 pressostat haute pression, 7 pressostat combiné, 8 pressostat basse pression, 9 lampes de signalisation d'états de commutation, 10 manomètre



P point de mesure de pression, PC soupape de maintien de pression, HP pressostat haute pression, LP pressostat basse pression; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Ajustage et fonction d'un pressostat haute pression: HSP pression de déclenchement, DIFF différence de commutation, CUT IN enclencher, CUT OUT déclencher

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] fonction et ajustage des pressostats en génie frigorifique
[3] pressostat de basse pression, haute pression et combiné
[4] affichage des états de commutation par lampes de signalisation
[5] production de pression par compresseur d'agent réfrigérant propre, agent de pressurisation air
[6] ajustage de pression par soupape de retenue de pression
[7] fonctionnement sans danger des pressostats à 24V

Caractéristiques techniques

Domaine de pression du compresseur: -0,9...24bar
Domaine d'ajustage du pressostat
- basse pression: -0,9...7,0bar, hystérésis: 0,7...4,0bar
- haute pression: 8,0...32,0bar, hystérésis: 4...10bar

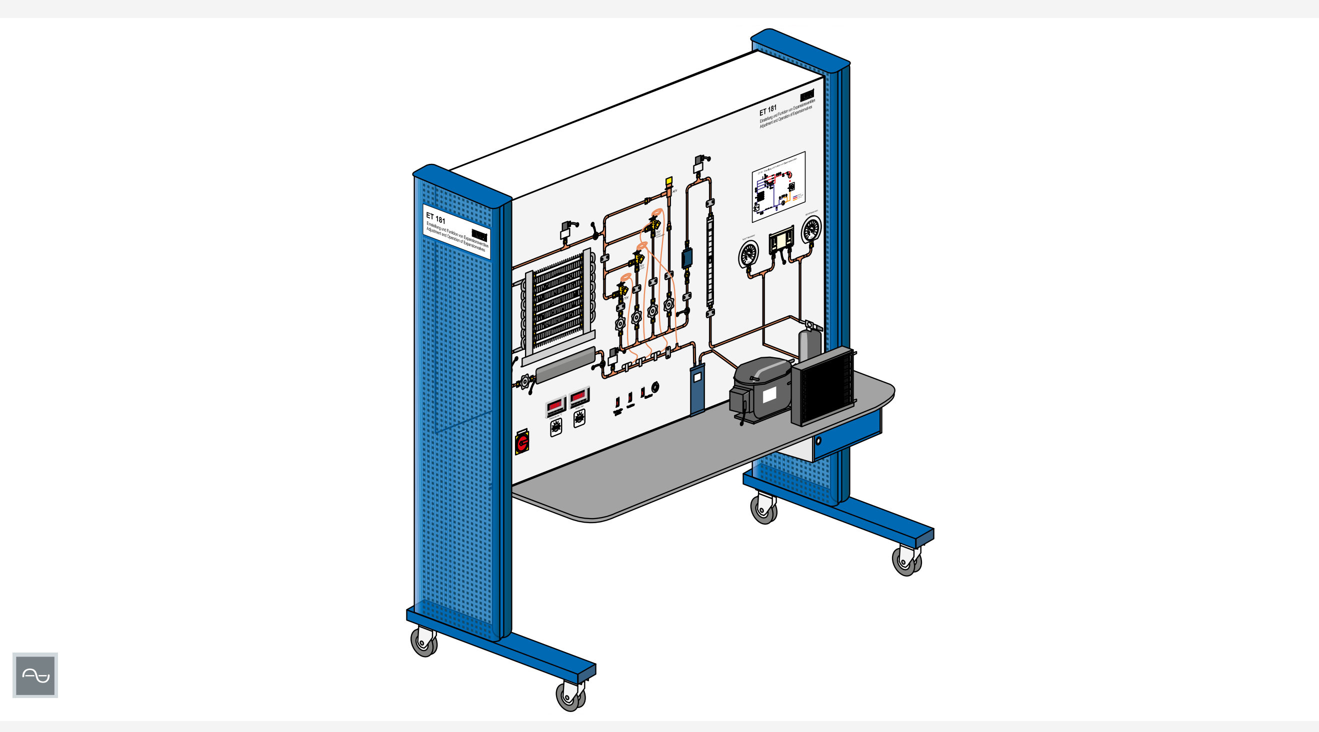
Plages de mesure
- manomètre:
  - -1...9bar
  - -1...24bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x650x530mm
Poids: env. 60kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 documentation didactique

ET 181
Ajustage et fonctionnement des soupapes de détente



L'illustration montre un appareil similaire

Description

- **circuit frigorifique avec différentes soupapes de détente**
- **surchauffe ajustable**
- **évaporateur transparent permettant d'observer la quantité de remplissage et le processus d'évaporation**
- **enregistrement du comportement de régulation par le logiciel**

Les soupapes de détente, aussi appelées régulateurs primaires jouent un rôle important dans le circuit frigorifique. Le choix correct et l'ajustage influencent de manière décisive la puissance de l'ensemble de l'installation frigorifique.

Le banc d'essai permet l'étude de quatre soupapes de détente différentes: soupape de détente thermostatique TEV (Thermostatic Expansion Valve) avec compensation de pression interne, TEV avec compensation de pression externe, TEV avec fonction MOP (Maximum Operating Pressure) et soupape de détente automatique AEV (Automatic Expansion Valve). Les soupapes de détente peuvent être sélectionnées par le biais de vannes.

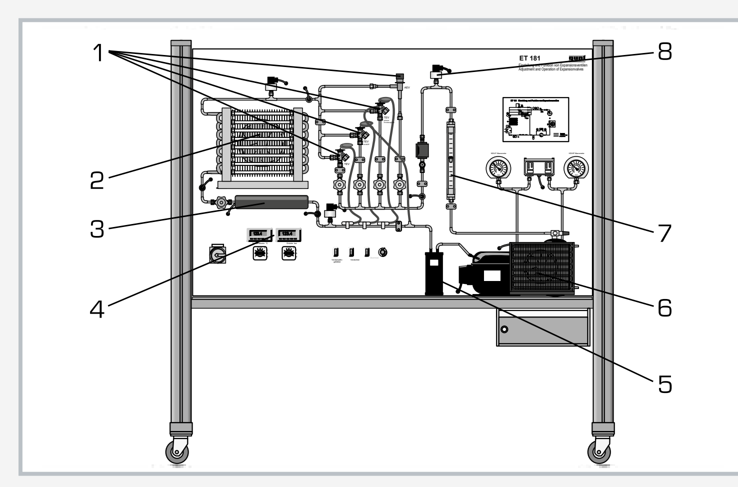
Il est possible d'observer l'injection et l'évaporation correcte du réfrigérant à l'aide de tubes en verre. Un surchauffeur supplémentaire, chauffé électriquement à la sortie de l'évaporateur permet l'étude du comportement de régulation pour différents surrefroidissements du réfrigérant. Les positions du capteur de température peuvent être sélectionnées à la sortie de l'évaporateur. Le comportement de régulation peut être observé sur un débitmètre. Les capteurs de pression et de température avant la soupape de détente, après la soupape de détente et à la sortie de l'évaporateur donnent des explications sur l'état du réfrigérant ainsi que sur le degré de surchauffe. Un groupe frigorifique usuel complète le circuit frigorifique.

Les valeurs de mesure peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le comportement de régulation des soupapes de détente est enregistré par le logiciel. L'apprenti peut vérifier l'ajustage correct de la soupape de détente et étudier les effets comme par exemple l'effet "hunting".

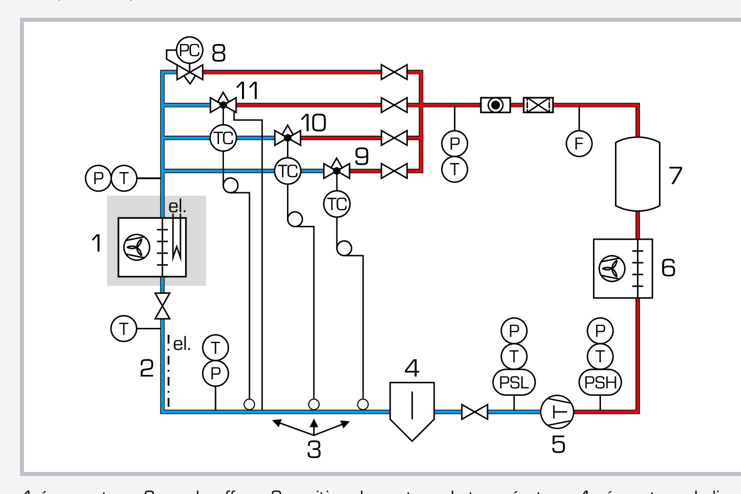
Contenu didactique/essais

- fonction et caractéristiques des différentes soupapes de détente
- étude de la courbe caractéristique de régulation statiques
- étude du comportement de régulation dynamique
- ajustage du point de fonctionnement optimal
- avantages et inconvénients des différentes soupapes de détente:
  - soupape de détente thermostatique (TEV) avec compensation de pression interne
  - TEV avec compensation de pression externe
  - TEV avec fonction MOP (max. operating pressure)
  - soupape de détente régulée par pression (AEV)
- effet "hunting"

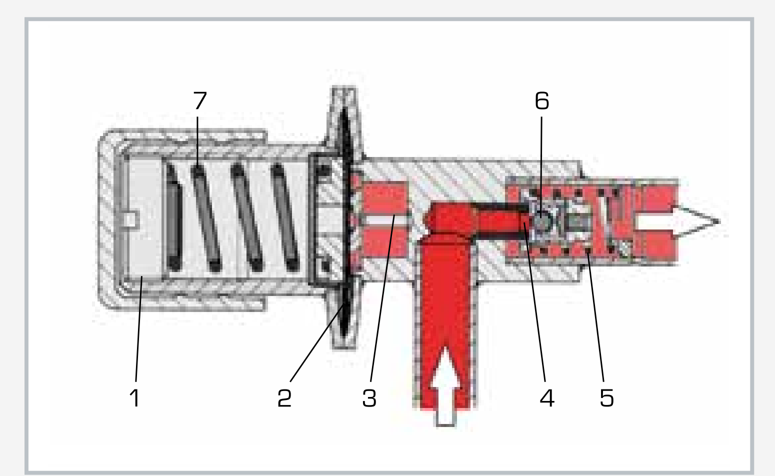
ET 181
Ajustage et fonctionnement des soupapes de détente



1 soupape de détente, 2 évaporateur avec tubes en verre, 3 surchauffeur, 4 affichages de pression et de température, 5 séparateur de liquide, 6 groupe frigorifique, 7 débitmètre, 8 capteur de pression



1 évaporateur, 2 surchauffeur, 3 position du capteur de température, 4 séparateur de liquide, 5 compresseur, 6 condenseur, 7 réservoir, 8 soupape de détente régulée par pression, 9-11 soupape de détente thermostatique: 9 avec compensation de pression interne, 10 avec fonction MOP, 11 avec compensation de pression externe; P pression, T température, F débit, PSL, PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Vue en coupe d'une soupape de détente automatique: 1 vis d'ajustage, 2 membrane, 3 goupille, 4 buse, 5 contre-ressort, 6 aiguille, 7 ressort d'ajustage

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] installation frigorifique disposant de différents éléments d'expansion: soupape de détente thermostatique TEV (Thermostatic Expansion Valve) avec compensation de pression interne, soupape de détente thermostatique TEV avec compensation de pression externe, soupape de détente thermostatique TEV avec fonction MOP, soupape de détente régulée par pression AEV
[3] évaporateur avec tubes en verre permettant d'observer l'injection et l'évaporation
[4] vanne située après l'évaporateur pour simulation de différentes pertes de pression
[5] dispositif de chauffage ajustable, électrique pour la surchauffe
[6] groupe frigorifique refroidi par air
[7] capteurs mesurant les pressions, les températures, le débit
[8] réfrigérant R513A, GWP: 631
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Groupe frigorifique refroidi par air
- puissance absorbée: 485W à -10/32°C
- puissance frigorifique: 675W à -10/32°C
- réservoir: 1,4L

Réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1,6kg
- équivalent CO_2: 1,0t

Plages de mesure
- pression: 2x -1...9bar, 1x -1...24bar
- température: 4 x -40...150°C
- débit: 3...41L/h

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1800x750x1900mm
Poids: env. 130kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 182
Régulateurs secondaires dans les installations frigorifiques



Description

- **connaître les régulateurs secondaires courants dans les installations de refroidissement**
- **les régulateurs secondaires peuvent être pris à part hors service pour la recherche de pannes**
- **niveau de refroidissement normal et avec charge de refroidissement**
- **régulateurs secondaires différents au niveau du condenseur refroidi par eau**

Afin de garantir un fonctionnement d'installations frigorifiques grandes et complexes, des régulateurs secondaires sont utilisés. Ceux-ci régulent la pression d'évaporation (KVP), la pression d'aspiration du compresseur (KVL), la puissance de refoulement du compresseur (KVC), la pression de condensation (WVFX, KVR) et la pression de condenseur (KVD, NRD).

L'étudiant peut tester les fonctions des différents régulateurs secondaires avec ce banc d'essai. Les régulateurs secondaires doivent être mis hors service en cas de besoin par un pontage ou un verrouillage. Cette possibilité peut être utilisée pour la recherche de pannes. Il est possible d'étudier l'effet du réglage des régulateurs secondaires sur l'ensemble de l'installation.

Les manomètres disposés sur tous les points importants et un thermomètre de poche permettent une surveillance des états de l'installation. Les deux évaporateurs peuvent être sélectionnés pour les niveaux de réfrigération normaux et de congélation par des électrovannes. L'effet d'une charge de refroidissement qui se modifie peut être étudié sur le régulateur secondaire par un chauffage électrique ajustable dans les chambres de réfrigération.

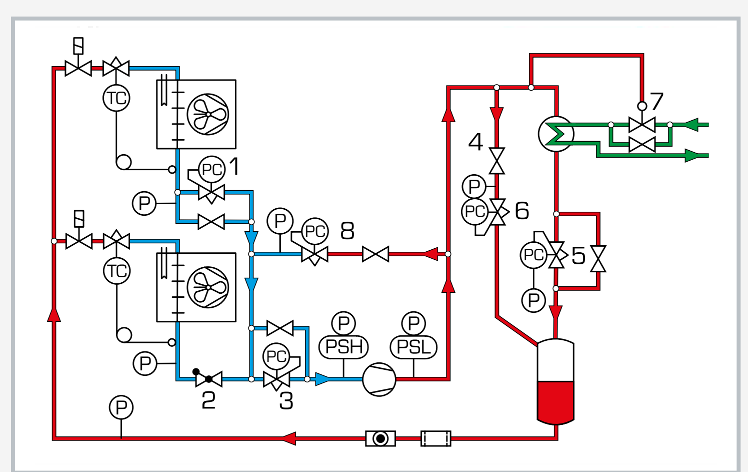
Contenu didactique/essais

- caractéristiques et possibilités d'utilisation des différents régulateurs secondaires
  - régulateur de pression de condensation (KVP)
  - régulateur de démarrage (régulation de pression d'aspiration du compresseur; KVL)
  - régulateur de puissance (régulation de puissance de refoulement du compresseur; KVC)
  - régulateur de pression de refoulement (WVFX, KVR)
  - régulateur de pression de réservoir (KVD avec NRD)
- ajustage des points de fonctionnement optimaux
- recherche de pannes sur les régulateurs secondaires

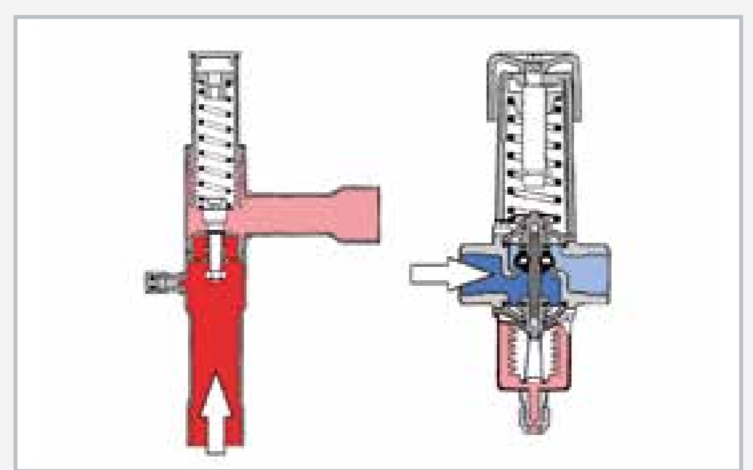
ET 182
Régulateurs secondaires dans les installations frigorifiques



1 chambre de refroidissement normale, 2 chambre de congélation, 3 régulateur de démarrage, 4+5 débitmètre, 6 compresseur, 7 réservoir, 8 régulateur de pression de réservoir, 9 régulateur de pression de condensation, 10 vanne à eau commandée par pression, 11 condenseur refroidi par eau, 12 régulateur de puissance, 13 régulateur de pression d'évaporation



1 régulateur de pression d'évaporation KVP, 2 soupape de retenue NRV, 3 régulateur de démarrage KVL, 4 soupape de retenue, 5 régulateur de pression de condensation KVR, 6 régulateur de pression de réservoir KVD, 7 vanne à eau commandée par pression WVFX, 8 régulateur de puissance KVC; bleu: basse pression, rouge: haute pression, vert: eau de refroidissement


Régulation de pression de condensation: régulation de pression de condensation KVR (gauche) et vanne à eau commandée par pression WVFX (droite)

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] installation frigorifique disposant de différents régulateurs secondaires: régulateur de pression d'évaporation KVP, régulateur de puissance KVC, régulateur de pression de condensation KVR, vanne à eau commandée par pression WVFX comme régulateur de pression de condensation, régulateur de pression du réservoir KVD, régulateur de démarrage KVL
[3] 2 chambres de refroidissement: niveaux de refroidissement normal et de congélation
[4] évaporateur pouvant être sélectionné par électrovannes
[5] chauffage électrique ajustable dans les chambres de refroidissement comme charge de refroidissement
[6] condenseur coaxial refroidi par eau
[7] mesure de pression sur tous les points pertinents de l'installation
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 990W à 5/40°C
- puissance absorbée: 685W à 5/40°C

Charge de refroidissement: 0...500W
Réservoir: 1,3L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1,4kg
- équivalent CO_2: 0,9t

Plages de mesure
- pression: 5x -1...9bar / 3x -1...24bar
- débit:
  - 20...250L/h (eau)
  - 1...11,5L/h, 2...27L/h (agent réfrigérant)
- température: -50...300°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2500x790x1900mm
Poids: env. 280kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique

Connaissances de base

Tuyauterie en génie frigorifique

La tuyauterie est un élément important d'installations frigorifiques. Une mauvaise conception et une mauvaise exécution des conduites d'installations frigorifiques peuvent avoir pour conséquence un fonctionnement défectueux, voire des endommagements au niveau de l'installation frigorifique.

Au niveau de l'installation frigorifique, on distingue principalement quatre différents types de tuyauterie:

Appellation	Relie	État d'agrégation	Température	Longueur
conduite d'aspiration	l'évaporateur et le compresseur	sous forme de vapeur	froid	long
conduite de pression	le compresseur et le condenseur	sous forme de vapeur	chaud	court
conduite de condenseur	le condenseur et le collecteur	liquide	environnement	court
conduite de liquide	le collecteur et l'évaporateur	liquide	environnement/froid	long

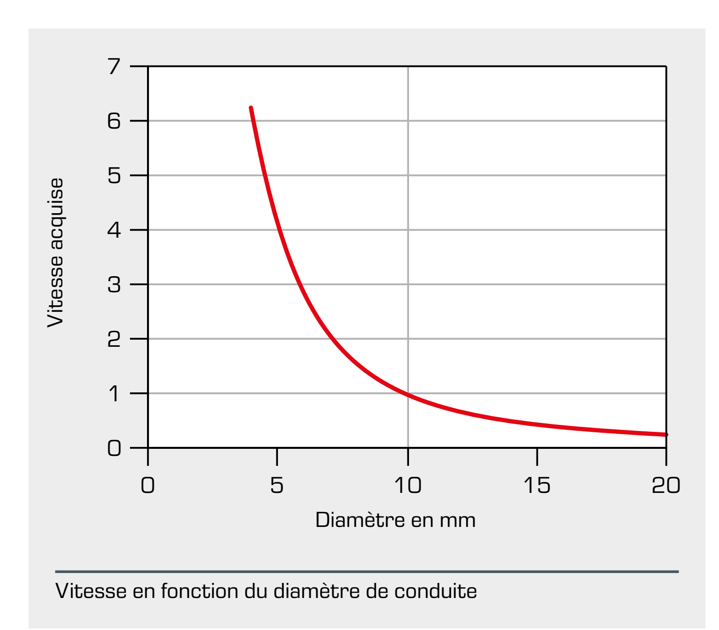
Les caractéristiques des différents types de tuyauterie ont une influence directe sur la conception. Dans le cas de longue tuyauterie, il faut en particulier veiller à ce que la perte de la pression soit faible. Dans le cas de tuyauterie acheminant des agents réfrigérants sous forme gazeuse, il faut veiller à ce que le transport d'huile soit sûr.

Des conduites d'agents réfrigérants froides ou chaudes doivent être isolées afin d'empêcher des pertes de chaleur ou la formation d'eau de condensation à la surface.

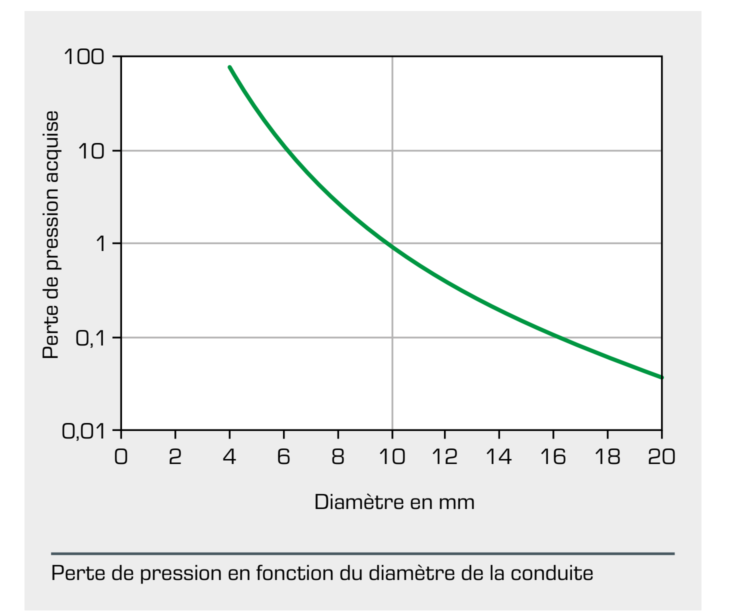
Influence du diamètre de la conduite sur la vitesse et la perte de pression

Des différences de pression survenant dans les conduites d'agents réfrigérants ont une influence involontaire sur la température d'ébullition de l'agent réfrigérant et ainsi sur le fonctionnement de l'installation. Les différences de pression peuvent d'une part aboutir à une différence de hauteur dans les conduites de liquides et mais d'autre part elles peuvent être provoquées par des pertes de pression dans la tuyauterie. Pour cette raison, il est important que la tuyauterie ait les bonnes dimensions.

Les deux diagrammes montrent l'influence du diamètre sur la vitesse et la perte de pression dans la conduite. La vitesse et la perte de pression se rapportent à un diamètre de 10 mm. Par exemple, un agrandissement du diamètre de 10 mm à 16 mm réduit la vitesse de 60%. À l'inverse, une réduction du diamètre de la conduite de 10 mm à 6 mm a pour conséquence un décuplement de la perte de pression.



Vitesse en fonction du diamètre de conduite



Perte de pression en fonction du diamètre de la conduite

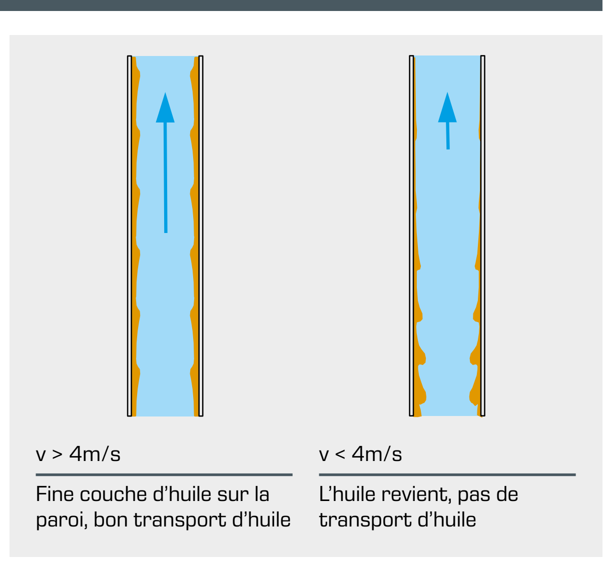
Transport d'huile dans les conduites d'agents réfrigérants

Dans le cas de compresseurs d'agents réfrigérants, une partie du lubrifiant arrive dans l'installation via la vapeur d'agent réfrigérant comprimée. Afin d'éviter une pénurie de lubrifiants dans le compresseur, ce lubrifiant doit être ramené dans le compresseur et ne doit pas rester dans l'installation.

Dans des conduites avec des agents réfrigérants liquides ceci ne constitue pas un problème puisque le lubrifiant est soluble dans l'agent réfrigérant. En revanche, le lubrifiant liquide reste dans l'évaporateur et il doit être porté par la vapeur de l'agent réfrigérant sur la paroi de la conduite d'aspiration.

Le transport d'huile est particulièrement difficile dans le cas de conduites d'aspiration montantes. Ici une vitesse minimale d'environ 4 m/s est requise afin d'acheminer l'huile dans la direction du compresseur.

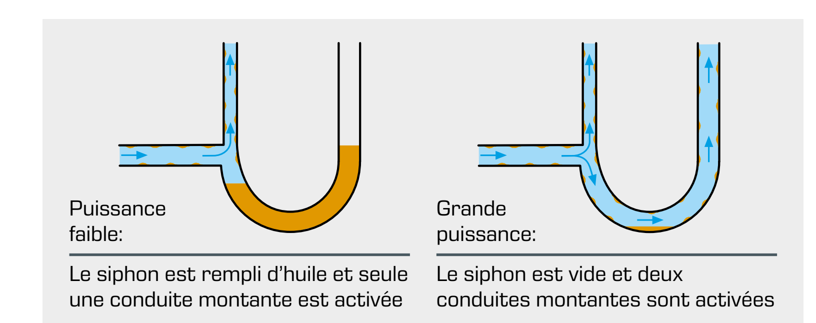
Pour cette raison, on recommande dans le cas de conduites d'aspiration de faire un compromis entre de faibles pertes de pression et un transport d'huile sûr. On recommande de respecter une vitesse de 4 m/s pour une charge partielle et une vitesse de 9m/s pour une charge complète.



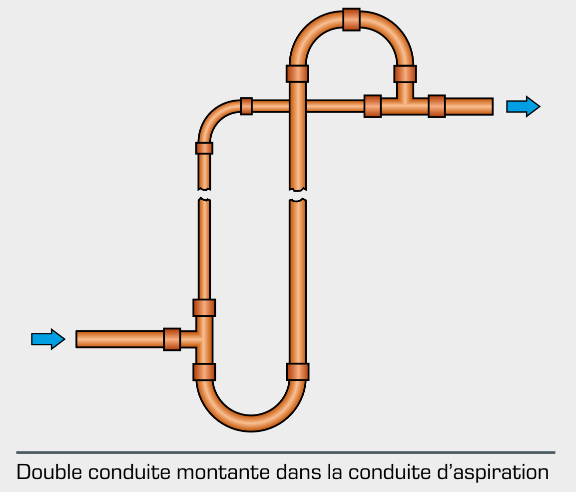
Fine couche d'huile sur la paroi, bon transport d'huile — L'huile revient, pas de transport d'huile

Double conduite montante pour un transport sûr de l'huile en cas de charge faible

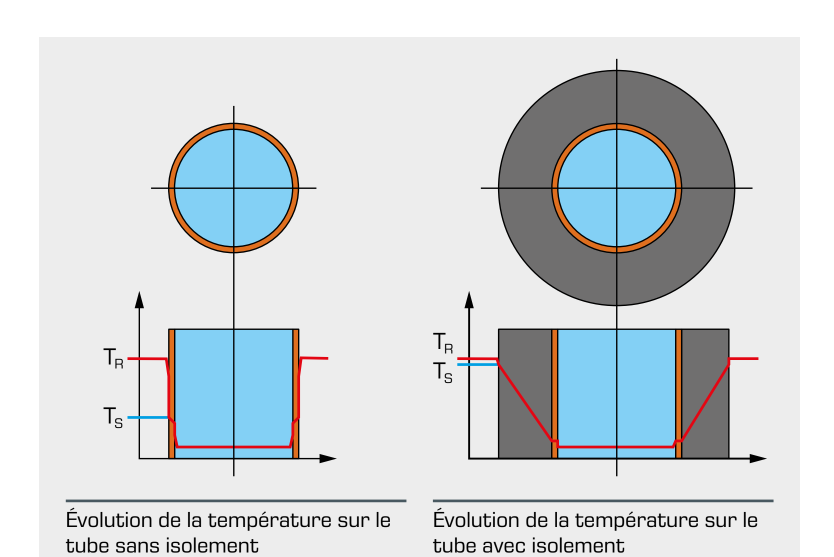
Dans le cas d'une charge faible, on ferme une conduite montante par un siphon rempli d'huile. Ainsi la vitesse dans la conduite restante augmente. En cas de puissance élevée, le siphon est vidé et la seconde conduite est activée. Ainsi les pertes de pression, la puissance étant élevée restent faibles.



Le siphon est rempli d'huile et seule une conduite montante est activée — Le siphon est vide et deux conduites montantes sont activées



Double conduite montante dans la conduite d'aspiration



Évolution de la température sur le tube sans isolement — Évolution de la température sur le tube avec isolement

Isolation des conduites

Les matériaux métalliques utilisés dans le cadre de la fabrication de conduites d'agents réfrigérants sont dotés d'une conductibilité thermique élevée, de telle sorte que la température de la surface T_s de la conduite corresponde à peu près à la température de l'agent réfrigérant. Ainsi il est possible d'échanger beaucoup de chaleur avec l'air ambiant (température T_R).

Par l'enveloppement de la conduite avec une couche isolante, la température de la surface est adaptée à l'environnement et le passage de chaleur est réduit.

Dans le cas de conduites froides, la température de la surface T_s est ainsi maintenue au-dessus de la température du point de condensation, empêchant une condensation ou le gel de l'humidité de l'air. De l'eau coulant goutte à goutte peut entraîner des dommages dus à l'humidité et à la corrosion.

Connaissances de base

Fabrication de tuyauterie

Fabrication de tuyauterie

Sur les installations frigorifiques fonctionnant avec des agents réfrigérants CFC, les conduites d'agent réfrigérant sont en général fabriquées avec des tubes en cuivre. Le cuivre est un matériau très basse température et est donc particulièrement adapté à une intégration dans des installations frigorifiques. Les propriétés de résistance et de déformation du cuivre augmentent avec la diminution de la température. Les tubes en cuivre répondent aux exigences particulières de pureté et de résistance du génie frigorifique. Les tubes sont scellés avec des bouchons en plastique jusqu'à l'utilisation pour éviter toute contamination.

La fabrication de la tuyauterie se divise en plusieurs étapes:

- détermination de la longueur nécessaire
- couper à longueur le tube et préparation des surfaces de coupe
- pliage conformément au tracé de tubes souhaité
- soudage ou border à vive arête afin de relier le raccord de la tuyauterie avec d'autres raccords de tuyauterie ou avec des raccords à collerettes

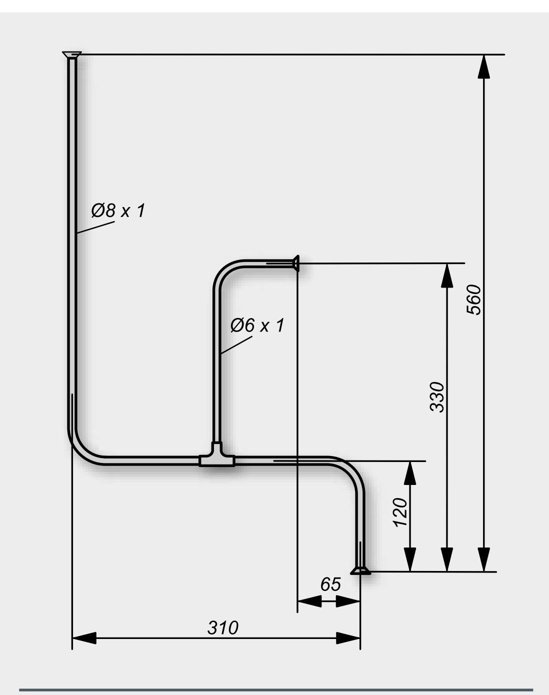


Schéma pour une tuyauterie dotée de raccords à collerettes pour le soudage; rabattage des extrémités des tubes

Couper à longueur le tube et préparation des surfaces de coupe



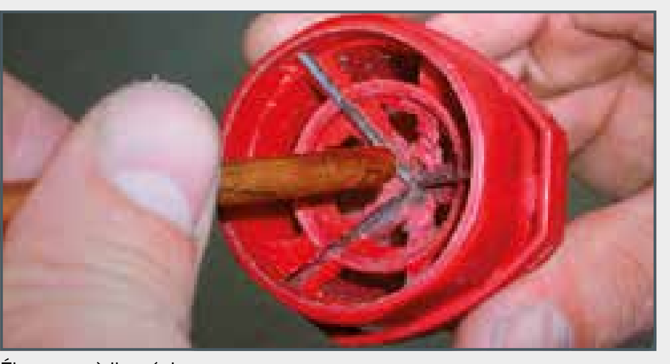
Déterminer la longueur du segment du tube. Ce faisant, il faut tenir compte des suppléments pour les opérations de pliage et d'agrafage. Scier le tube.



Limer la coupe de la scie, la surface de coupe devant se trouver dans un angle droit avec l'axe du tube



Ébavurer à l'intérieur



Ébavurer à l'extérieur

Pliage du tube



Insérer le tube dans le dispositif de pliage



Plier pour obtenir l'angle souhaité

Brasage fort des tuyaux et des raccords a collerettes – jonction non détachable



Réchauffer la pièce à usiner jusqu'à obtenir la chaleur de soudage et la fonte du fondant et de la soudure. Par effet de capillarité, la soudure remplit d'elle-même l'interstice de soudage.

En raison des fortes contraintes en termes de solidité, les tubes de cuivre et les raccords à collerettes font l'objet d'un brasage fort. Dans le cadre du brasage fort, les matériaux métalliques sont reliés à l'aide d'un matériau auxiliaire (soudure). La température de fusion du brasage fort doit au moins s'élever à 450°C. Les matériaux ne sont pas fondus.

Fait important dans le cas d'un brasage fort

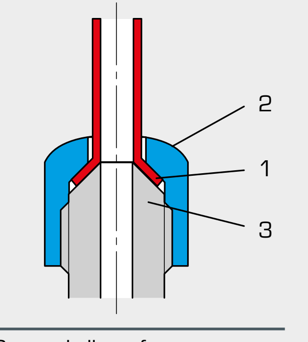
- des soudures métalliquement pures
- une soudure adaptée avec le point de fusion correct et le fondant
- interstice de soudure correct situé entre 0,1 et 0,3 mm
- température correcte de la pièce à usiner et de la soudure
- gaz de protection (par exemple, de l'azote), afin d'éviter le calaminage à l'intérieur des tubes

Rabattage des tubes – jonction détachable



Agrafage du tube avec les outils d'agrafage

Des jonctions détachables sont souvent créées à l'aide d'agrafage. Dans le cadre de cette démarche, l'extrémité du tube est élargie en forme de cône **1** et à l'aide d'un écrou-raccord **2** elle est pressée sur le cône d'étanchéité **3** du raccord à collerette. Lors du serrage de l'agrafage, il faut recouvrir la surface d'étanchéité avec une fine couche d'huile.



Coupe de l'agrafage



ET 460
Retour d'huile dans les installations frigorifiques



Contenu didactique/essais

- bases du retour d'huile dans les installations frigorifiques
- influence du diamètre de la conduite montante sur le transport d'huile
- influence du fonctionnement à charge partielle ou en pleine charge sur le transport d'huile
- mode opératoire d'une conduite montante double
- fonctionnement séparé ou en parallèle des compresseurs

Description

- **transport de lubrifiants solubles dans l'agent réfrigérant dans les installations frigorifiques**
- **matériel transparent permettant d'observer les états de transport dans les conduites montantes**
- **observation des procédures dans une conduite montante double en cas de fonctionnement à charge partielle ou en pleine charge**
- **fonctionnement séparé ou parallèle de deux compresseurs pour une charge partielle ou complète**

Le retour d'huile dans l'installation frigorifique revêt une importance centrale pour la durée de vie du compresseur et ainsi pour une alimentation frigorifique sûre et constante.

Pour la plupart des compresseurs, une certaine quantité de lubrifiant est emmenée avec l'agent réfrigérant étanche. Dans le cas des agents réfrigérants liquides, l'huile est dissoute dans l'agent réfrigérant et peut être transportée sans problème. Dans le cas d'un agent réfrigérant sous forme de vapeur, l'huile reste liquide dans les parties les plus profondes de l'installation. Cela peut conduire à un manque d'huile dans le compresseur. Afin de transporter à nouveau l'huile dans le compresseur, une vitesse minimale doit être respectée dans les conduites. Si la vitesse dans la conduite montante sur le côté aspiration du compresseur est trop faible (charge partielle), alors l'huile n'est plus retransportée dans le compresseur en raison de sa densité plus grande. La vitesse dans la conduite montante dépend du diamètre de la conduite et des débits massiques d'agent réfrigérant. Un diamètre plus petit de la conduite montante entraîne donc une vitesse plus grande et garantit le retour de l'huile même dans le cas d'une charge partielle. En cas de charge totale, la perte de pression augmente tout de même en raison du faible diamètre.

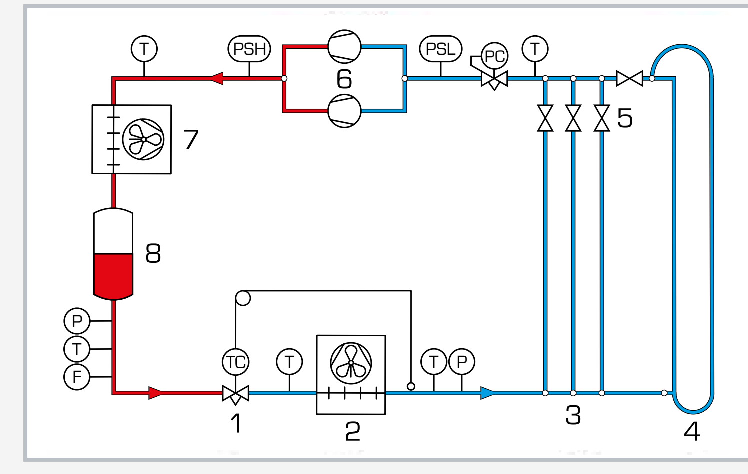
Des conduites montantes double sont utilisées afin de compenser ce dèsavantage. En cas de charge partielle, l'huile s'accumule dans un coude au pied du tube double. L'huile dans le coude verrouille un des deux tubes, de sorte à ce que l'agent réfrigérant coule à grande vitesse dans l'autre tube et transporte l'huile vers le compresseur. En cas de charge totale, l'huile est pressée dans un coude de sorte à ce que l'agent réfrigérant coule à travers les deux tubes.

Sur le côté avant du ET 460, trois conduites montantes avec différents diamètres et une conduite montante double sont disposés. Le choix de la conduite montante se produit l'intermédiaire de vannes. Le transport d'huile à des vitesses différentes peut être observé de cette manière. Les composants restants du circuit frigorifique se trouvent sur le côté arrière du banc d'essai. Le fonctionnement séparé ou combiné de deux compresseurs montés en parallèle permet le fonctionnement en charge partielle ou en pleine charge.

ET 460
Retour d'huile dans les installations frigorifiques



1 manomètre côté pression, 2 manomètre côté aspiration, 3 débitmètre, 4 éléments d'affichage et de commande, 5 conduite montante Ø 6mm, 6 conduite montante Ø 10mm, 7 conduite montante Ø 14,4mm, 8 conduite montante double, 10 vanne de choix de la conduite montante



1 soupape de détente, 2 évaporateur, 3 conduites montantes, 4 conduite montante double, 5 vanne de choix de la conduite montante, 6 compresseur, 7 condenseur, 8 réservoir; P pression, F débit, T température, PSH, PSL pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression

Spécification

[1] étude du retour d'huile pour le compresseur dans les circuits frigorifiques avec de l'huile soluble dans l'agent réfrigérant
[2] circuit frigorifique avec deux compresseurs montés en parallèle, un compresseur avec deux ventilateurs, un compresseur avec ventilateur et une soupape de détente thermostatique
[3] 3 conduites montantes simples et 1 double en verre dans la ligne d'aspiration du circuit frigorifique
[4] conduites montantes pouvant être sélectionnées par vannes
[5] débit ajustable dans le circuit frigorifique par fonctionnement simple ou combiné des deux compresseurs
[6] vitesse de rotation ajustable des deux ventilateurs
[7] la mesure de température avec doigts de gants
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

2 compresseurs avec condenseur
- puissance frigorifique: 1920W à 5/55°C
- puissance absorbée: 1190W à 5/55°C
- débit volumétrique d'air ventilateur: 1300m^3/h

Évaporateur
- surface de transfert: 5,7m^2
- débit volumétrique d'air ventilateur: 720m^3/h

Conduites montantes
- Ø 14,4mm; L=1110mm
- Ø 10mm; L=1110mm
- Ø 6mm; L=1110mm
- Ø 8/10mm (conduite montante double); L env. 1300mm

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP:631
- volume de remplissage: 1,5kg
- équivalent CO_2: 0,9t

Plages de mesure
- pression: -1...9bar; -1...24bar
- débit: 2...27L/h
- température: 5x -50...100°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1410x800x1900mm
Poids: env. 216kg

Liste de livraison

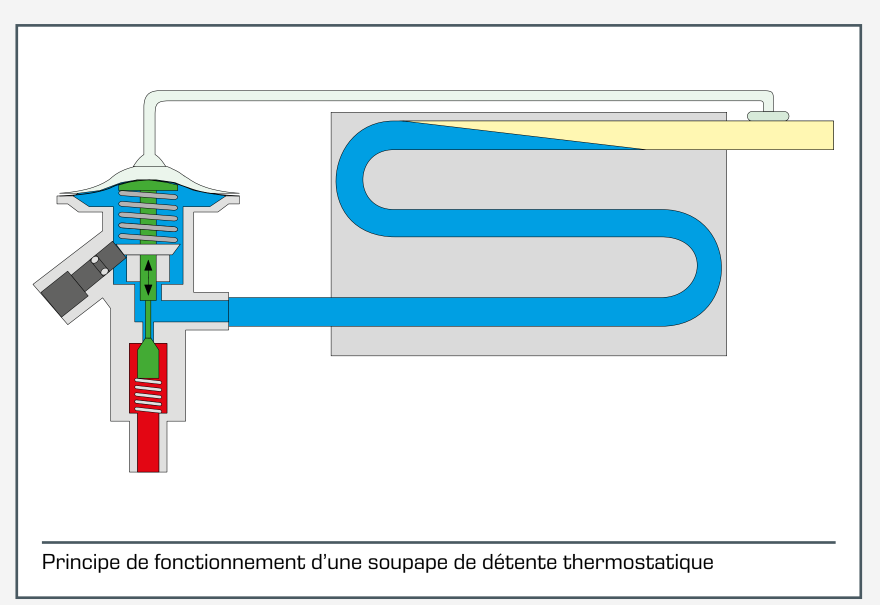
1 banc d'essai
1 documentation didactique



ET 499 Modèles en coupe issus du génie frigorifique

ET 499.30
Modèle en coupe: évaporateur à air forcé plafonnier





Principe de fonctionnement d'une soupape de détente thermostatique

Modèles en coupe issus du génie frigorifique

- présentation des composants et de leur fonction
- aperçu des détails et compréhension du mode de fonctionnement
- les fonctions motrices demeurent totalement préservées

Les modèles en coupe représentés aux pages suivantes montrent des composants d'usage en génie frigorifique tels que des compresseurs, des vannes, des déshydrateurs et des séparateurs de liquide. Une courte description et un dessin en coupe sont respectivement compris dans le volume de livraison des modèles en coupe. L'utilisation didactique des modèles peut ainsi être étendue au dessin technique. Les modèles en coupe de grand format sont montés sur un socle robuste. Deux poignées en facilitent le transport.

Le modèle ET 499.30 comporte un évaporateur à air forcé plafonnier conventionnel, soupape de détente thermostatique et un filtre déshydrateur. Les coupes sont réalisées afin de permettre une observation aisée des détails structurels.

ET 499.01
Modèle en coupe: compresseur d'agent réfrigérant hermétique



ET 499.02
Modèle en coupe: compresseur d'agent réfrigérant semi-hermétique

ET 499.03
Modèle en coupe: compresseur d'agent réfrigérant ouvert



ET 499.12
Modèle en coupe: sécheur à cartouche



ET 499.13
Modèle en coupe: séparateur d'huile



ET 499.14
Modèle en coupe: séparateur de liquide





ET 499.16
Modèle en coupe: robinet à tournant sphérique



ET 499.18
Modèle en coupe: soupape de détente (thermostatique)



ET 499.19
Modèle en coupe: soupape de détente (automatique)



ET 499.21
Modèle en coupe: voyant avec indicateur d'humidité



ET 499.25
Modèle en coupe: vanne d'inversion 4 voies



ET 499.26
Modèle en coupe: régulateur de pression de condensation



Des manuels de haute qualité

La politique d'enseignement de GUNT se définit ainsi: des appareils haut de gamme et de la documentation didactique clairement élaborée sont pour enseignants et apprenants une garantie de la réussite de toute formation sur un appareil d'essai.

Au cœur de cette documentation didactique vous trouverez des essais de référence que nous avons effectués.
La description d'un essai contient le montage expérimental ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.
Un groupe d'ingénieurs expérimentés développe et actualise la documentation didactique.

S'il advenait cependant que certaines questions soient restées sans réponse, nous sommes à votre entière disposition, au téléphone ou – en cas de besoin – sur place.

Connaissances de base

Montage, dépannage et entretien en génie frigorifique

L'installation frigorifique est un système de tuyauterie fermé dans lequel des transformations d'état complexes se produisent. Comme il est impossible dans la pratique de regarder à l'intérieur du système de tuyauterie fermé, il est important de très bien comprendre ces processus pour pouvoir les visualiser en pensée. Pour cette raison, les appareils GUNT expliquent le fonctionnement des différents composants de l'installation frigorifique et la manière dont ils interagissent les uns avec les autres. Les perturbations fréquemment rencontrées sont également observées puis analysées à l'aide des connaissances de base acquises précédemment.

Seul un frigoriste qui a appris à visualiser en pensée le fonctionnement de l'installation est capable de faire le bon diagnostic en se basant sur ses valeurs de mesure et de prendre les mesures de dépannage requises.

Exercices de montage avec le MT 210



Procédure de mise en service

1. inspection visuelle
2. contrôle de pression
3. vérification d'étanchéité
4. séchage, évacuation
5. remplissage, détermination de la quantité de remplissage requise
6. vérification et ajustage des organes de sécurité

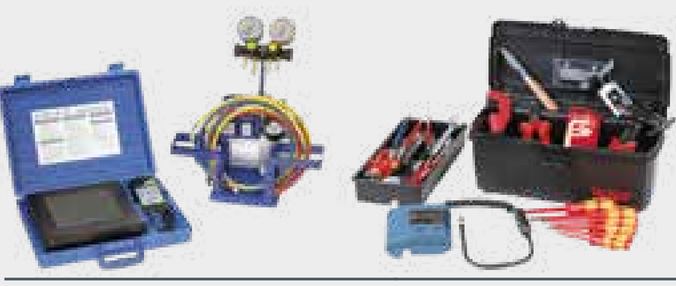
- livraison en kit
- montage mécanique de composants individuels, conformément aux normes usuelles de l'industrie
- montage hydraulique des raccords de tuyaux selon le schéma de l'installation
- installation électrique selon le schéma de câblage
- évacuation et remplissage des installations frigorifiques
- recherche de pannes sur les installations frigorifiques
- disposition claire des composants montés
- installation frigorifique entièrement fonctionnelle sur laquelle il est possible de pratiquer une mise en service

Exercices d'entretien sur l'ET 192, l'ET 150.01 et l'ET 150.02



ET 192 Remplacement de composants frigorifiques

- montage et démontage mécanique et électrique de divers composants du génie frigorifique
- déplacement d'agent réfrigérant (pump down)
- nouveau remplissage d'agent réfrigérant et d'huile du compresseur
- vérification d'étanchéité
- marche d'essai du compresseur
- ajustage de la soupape de détente et du pressostat



ET 150.01 Appareil de remplissage et d'évacuation d'agent réfrigérant

ET 150.02 Jeu d'outils

En plus d'un équipement technique, la **recherche** et **l'analyse des pannes** dans les installations frigorifiques nécessitent des connaissances spécialisées. Les outils les plus importants pour la recherche de pannes sont les manomètres et les thermomètres. Les états de l'agent réfrigérant tels que la surchauffe et le surrefroidissement fournissent des informations importantes lors de la recherche d'un défaut.

Vos propres sens sont également des outils importants pour la recherche de pannes: des bulles dans le voyant, de la saleté et une formation de givre sont visibles. Si le compresseur aspire de la vapeur humide, cela se voit sur la conduite d'aspiration et on peut également l'entendre. Vous pouvez même sentir l'odeur d'un compresseur surchargé.

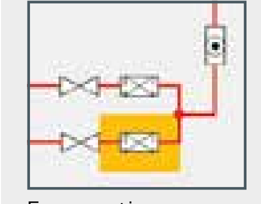
Exercices de recherche des pannes avec l'ET 422

La simulation de 12 défauts différents, tels que des soupapes défectueuses ou des conduites bloquées, est activée via un PC à écran tactile.

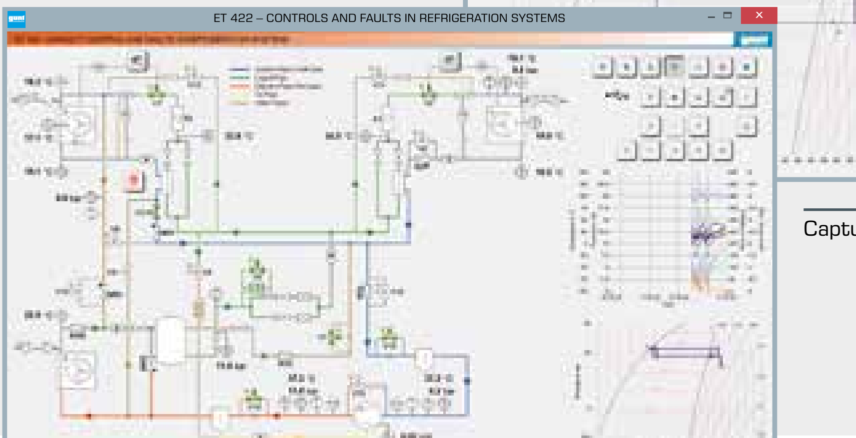
De nombreuses conduites d'agent réfrigérant montées sur l'arrière de l'appareil servent à simuler des pannes de l'installation. Ici, par exemple, un composant du génie frigorifique est ponté au moyen d'une dérivation.

Le logiciel est un composant essentiel de l'ET 422, car il sert à commander directement la plupart de ces composants. Pour rendre plus difficile la recherche des erreurs, il est possible de masquer dans le logiciel les conduites défectueuses t et les composants défectueux.





Erreur active



Captures d'écran du logiciel



MT 210
Exercice de montage et de maintenance en génie frigorifique



Contenu didactique/essais

- lire et comprendre les documents techniques
- avec le ET 150.02
  - planifier et réaliser les étapes et le déroulement du montage
  - réaliser les raccords de tube selon le schéma de l'installation
  - réaliser l'installation électrique selon le schéma de connexion
- avec le ET 150.01
  - remplir et évacuer l'installation frigorifique
  - mettre en service l'installation frigorifique et vérifier que le montage est réussi
  - découvrir la fonction d'une installation frigorifique comme système et ses composants comme pièces détachées
  - analyse des pannes: recherche de pannes, évaluation des pannes et dépannage
  - planifier, réaliser et évaluer les procédures de maintenance

Description

- **projet d'apprentissage ayant une haute affinité avec la pratique**
- **adapté pour la formation des métiers de la métallurgie et de l'électrotechnique**
- **interdisciplinaire et touchant à de nombreux champs d'apprentissage**
- **montage d'une installation frigorifique de pièces détachées**

Les étudiants peuvent apprendre le travail dans un projet complexe à l'aide du MT 210. Il est ici question de la planification, de la réalisation et de la vérification des procédures de montage, mise en service et réparation. Le montage comprend l'installation frigorifique: montage des pressostats BP et HP, de la soupape de détente et de la tuyauterie du circuit frigorifique.

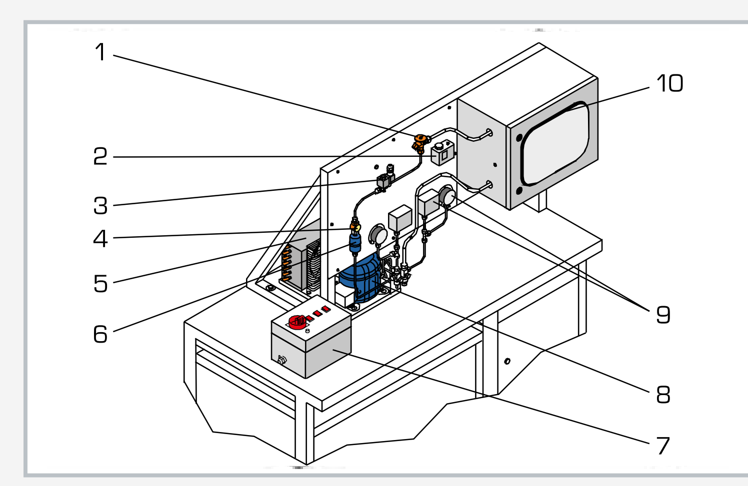
Les raccords de tube ne sont pas brasés, mais établis par des raccords à vis. L'installation électrotechnique comporte le câblage et le raccordement de tous les agrégats et éléments de commutation.

Pour le montage, on dispose du jeu d'outils ET 150.02; pour la mise en service de l'installation c'est l'appareil de remplissage et d'évacuation ET 150.01 qui est nécessaire.

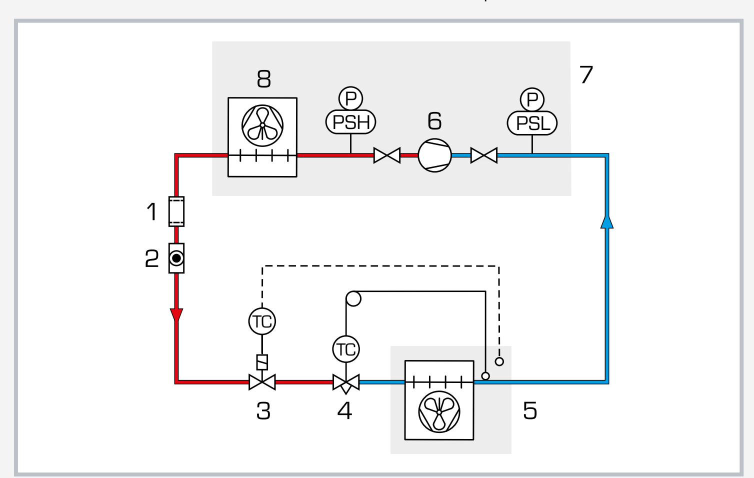
L'installation finie et montée MT 210 représente une installation frigorifique entièrement fonctionnelle, régulée par température disposant d'une chambre de refroidissement et d'un thermostat électrique. Un montage et démontage répété est possible.

L'essai est réalisé sur un banc de travail avec des tiroirs pour conserver les composants et les outils. Le panneau de montage et la chambre de refroidissement sont montés sur un cadre. Le cadre, le groupe frigorifique et le coffret de commande sont fixés par des vis sur la surface de travail du banc de travail. Les composants frigorifiques et électriques sont fixés sur le panneau de montage en aluminium.

MT 210
Exercice de montage et de maintenance en génie frigorifique



1 soupape de détente, 2 thermostat, 3 électrovanne, 4 voyant, 5 condenseur avec ventilateur, 6 filtre/sécheur, 7 coffret de commande, 8 compresseur, 9 pressostat avec manomètre, 10 chambre de refroidissement avec fenêtre et évaporateur monté



1 filtre/sécheur, 2 voyant, 3 thermostat, 4 soupape de détente, 5 chambre de refroidissement avec évaporateur, 6 compresseur, 7 groupe frigorifique, 8 condenseur;
P pression, PSL, PSH pressostat; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Contrôle d'étanchéité sur la soupape de détente de l'installation entièrement montée

Spécification

[1] projet de montage pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] montage d'une installation frigorifique avec chambre de refroidissement d'un kit complet
[3] installation frigorifique prévue pour le fonctionnement avec l'agent réfrigérant R513A
[4] régulation de température par thermostat
[5] groupe frigorifique refroidi par air avec compresseur
[6] chambre de refroidissement avec vitrine à évaporateur et ventilateur
[7] chambre de refroidissement avec grand fenêtre
[8] panneau de montage pour le montage des composants frigorifiques et électriques
[9] montage électrique selon schéma de connexion
[10] tuyauterie simple du circuit frigorifique avec raccords à tubes vissés
[11] banc de travail avec tiroirs pour conservation des composants
[12] partie de la GUNT-Practice Line pour le montage, l'entretien et la réparation

Caractéristiques techniques

Groupe frigorifique
- puissance absorbée: 190W
- réservoir: env. 1L

Vitrine à évaporateur
- puissance: 50W à t_0=-6°C, ΔT=8K
- surface de transfert: 1,06m^2

Chambre de refroidissement avec fenêtre
- Lxlxh: 480x280x390mm

Panneau de montage en aluminium: Lxl: 710x500mm

Soupape de détente thermostatique, ajustable
Thermostat, ajustable: -30...15°C

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1530x750x1670mm
Poids: env. 155kg

Nécessaire pour le fonctionnement

env. 1kg agent réfrigérant (R513A)

Liste de livraison

1 banc de travail avec tiroirs, coffret de commande, groupe frigorifique, panneau de montage et chambre de refroidissement
1 kit, 1 jeu de petites pièces
1 documentation didactique incluant: description technique du système, jeu complet de dessins techniques avec listes de pièces, description des procédures de montage et de démontage, description des procédures d'entretien et de réparation

ET 192
Remplacement de composants frigorifiques



Description

- **travaux de service pratiques sur les installations frigorifiques**
- **remplacer les composants typiques sur une installation frigorifique: compresseur, pressostat, filtre/sécheur, électrovanne et soupape de détente**
- **déplacement, remplacement, évacuation, remplissage et aspiration de l'agent réfrigérant**

Le remplacement d'un compresseur défectueux ou d'autres composants de l'installation frigorifique fait partie des activités récurrentes d'un mécatronicien frigoriste. Le ET 192 permet de s'entraîner pour ces procédures. Il est possible de montrer quelles sont les conséquences d'un mauvais comportement.

Les composants sont intégrés dans une installation frigorifique fonctionnelle. De cette manière, il est possible de tester de manière conforme à la pratique la fonctionnalité des composants individuels après un changement réussi.

Les activités suivantes sont par exemple à effectuer lors du changement d'un compresseur:
- déplacement d'agent réfrigérant (Pump-down) dans le condenseur/réservoir (dans le cas où ceci n'est pas possible, aspiration de l'agent réfrigérant)
- déconnexion du compresseur des vannes de service
- séparer les connexions électriques
- remplacer le compresseur, éventuellement corriger le remplissage d'huile
- rétablir les connexions électriques
- raccorder le compresseur aux vannes de service
- évacuer le compresseur et établir une liaison vers le système
- effectuer un test de fonctionnement du compresseur
- vérifier l'étanchéité et si besoin est compléter le niveau d'agent réfrigérant
- vérifier les pressions de l'installation

Le jeu d'outils ET 150.02 ainsi que l'appareil de remplissage et d'évacuation ET 150.01 sont nécessaires pour l'exécution des travaux de maintenance.

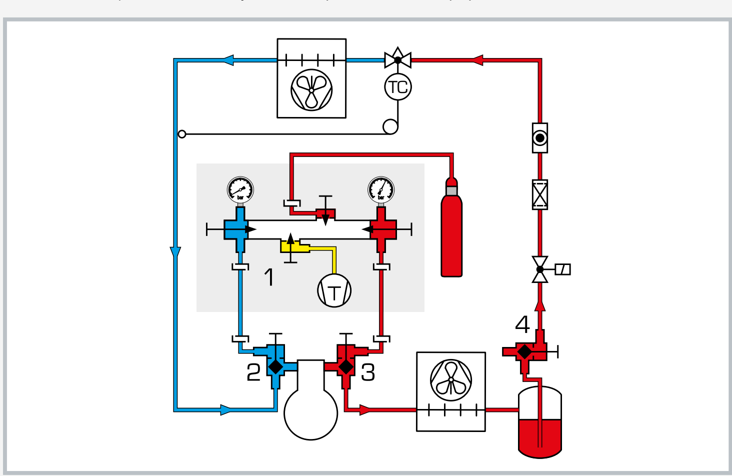
Contenu didactique/essais

- découvrir et réaliser les activités de base de maintenance sur les installations frigorifiques
- remplacement de
  - compresseur
  - pressostat
  - filtre/sécheur
  - électrovanne
  - soupape de détente
- déplacement d'agent réfrigérant (Pump-down)
- montage mécanique et électrique et démontage des composants
- compléter le niveau d'agent réfrigérant et d'huile du compresseur
- vérification de l'étanchéité
- marche d'essai du compresseur
- ajustage de la soupape de détente et du pressostat

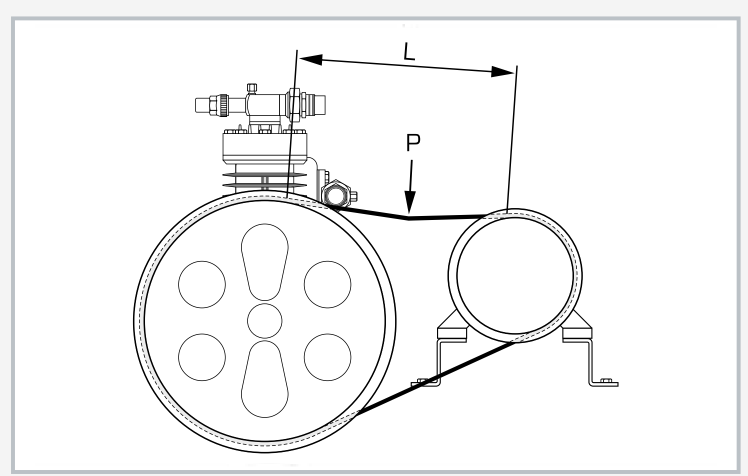
ET 192
Remplacement de composants frigorifiques



1 schéma de processus, 2 pressostat, 3 condenseur, 4 compresseur, 5 éléments de commande, 6 filtre/sécheur, 7 voyant, 8 évaporateur, 9 soupape de détente



Exemple: position de vanne pour un fonctionnement normal, l'aide d'assemblage est raccordée et affiche les pressions de service; 1 aide d'assemblage, 2 vanne de service côté aspiration, 3 vanne de service côté pression, 4 soupape d'arrêt réservoir; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Vérifier et ajuster la tension de courroie

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoriste
[2] exercices de maintenance sur les installations frigorifiques
[3] circuit frigorifique complet avec compresseur ouvert, condenseur refroidi par air, réservoir et évaporateur chauffé par air
[4] composants remplaçables: compresseur, filtre/sécheur, pressostat et électrovanne
[5] accessoires nécessaires appareil d'évacuation ET 150.01 et jeu d 'outils ET 150.02
[6] structure complète sur banc de travail robuste
[7] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur à agent réfrigérant ouvert
- puissance frigorifique: 450W à -5°C/40°C et 1450min^{-1}
- pression maximale du système: 18bar

Pressostat
- basse pression: -0,2...7bar
- haute pression: 10...32bar

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 1kg
- équivalent CO_2: 0,6t

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1400x750x1650mm
Poids: env. 150kg

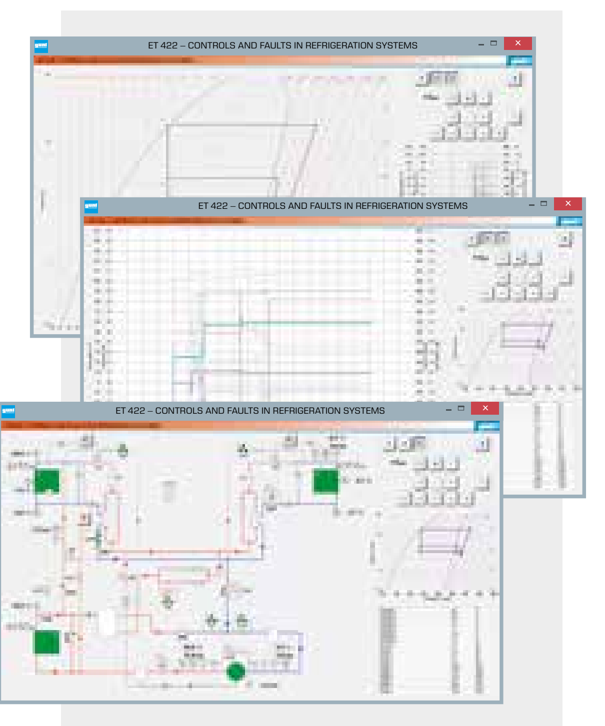
Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique



ET 422 Régulation de puissance et pannes sur les installations frigorifiques

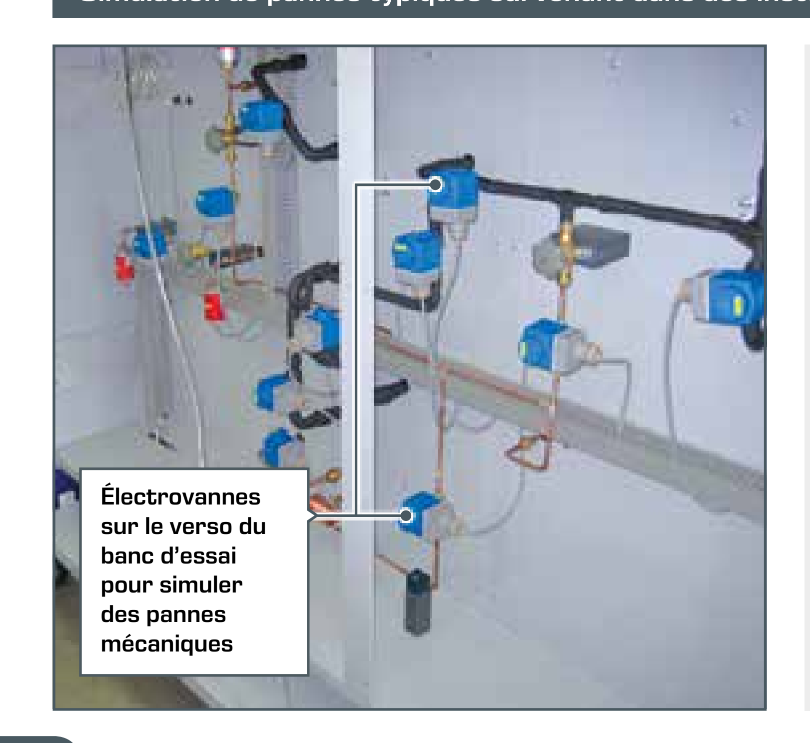




Logiciel pour un soutien optimal du processus d'apprentissage:

- schéma de processus avec affichage des valeurs mesurées
- enregistrement des évolutions de temps
- représentation du cycle thermodynamique dans le diagramme log p,h

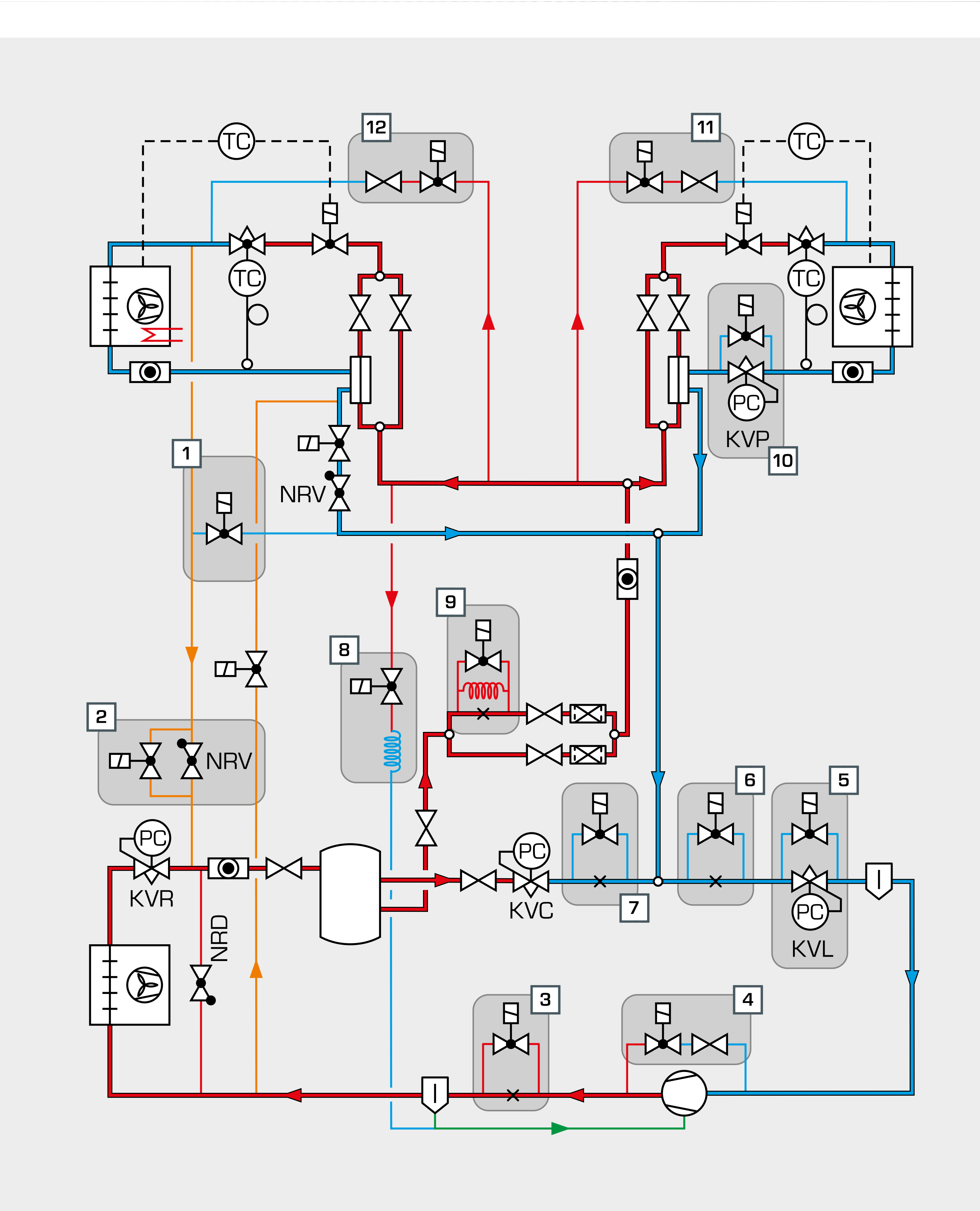
Simulation de pannes typiques survenant dans des installations frigorifiques



Électrovannes sur le verso du banc d'essai pour simuler des pannes mécaniques

Pannes mécaniques typiques

1. soupape de retenue devant le régulateur de démarrage est défectueuse
2. soupape de retenue pour le dégivrage par gaz chauds est défectueuse
3. conduite de pression sur le compresseur est obturée
4. panne d'étanchéité sur le compresseur
5. régulateur de démarrage KVL est défectueux
6. conduite d'aspiration sur le compresseur est obturée
7. régulateur de puissance KVC est défectueux
8. séparateur d'huile défectueux (vanne à flotteur bloquée)
9. filtre/sécheur bloqué (givré)
10. régulateur de pression d'évaporation KVP de la chambre de refroidissement défectueux
11. soupape de détente sur la chambre de refroidissement est défectueuse
12. soupape de détente sur la chambre de congélation est défectueuse



KVP régulateur de pression d'évaporation, **KVR** régulateur de pression de condensation, **KVL** régulateur de démarrage, **KVC** régulateur de puissance, **NRD**, **NRV** soupape de retenue;
agent réfrigérant chaud, agent réfrigérant froid, conduites de dégivrage par gaz chauds, retour d'huile lubrifiante

ET 422

Régulation de puissance et pannes sur les installations frigorifiques



Description

- **modèle pratique d'une installation frigorifique industrielle**
- **chambre de refroidissement et de congélation pour l'étude de différentes méthodes de régulation de puissance**
- **simulation de douze pannes**
- **deux méthodes de dégivrage pour la chambre de congélation**

La régulation efficace de puissance et de température dans les installations frigorifiques est un sujet important en génie frigorifique. Différentes méthodes de régulation de puissance peuvent être étudiées avec le ET 422.

Les composants d'un circuit frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation sont disposés de manière visible sur le banc d'essai. Les électrovannes permettent le fonctionnement seul ou en parallèle des évaporateurs dans les deux chambres. Le circuit est équipé d'un régulateur de puissance, d'un régulateur de démarrage et d'un pressostat combiné pour le côté aspiration et pression du compresseur. Un échangeur de chaleur à l'entrée de chacun des évaporateurs dans le circuit frigorifique permet l'étude de l'efficacité du processus de surrefroidissement de l'agent réfrigérant.

La puissance frigorifique est régulée par un thermostat dans les deux chambres séparées. La chambre de refroidissement possède en outre un régulateur de pression d'évaporation.

Il existe deux méthodes de dégivrage pour la chambre de congélation: un chauffage de dégivrage électrique et un dégivrage par gaz chauds, pour lequel de l'agent réfrigérant chaud sortant du compresseur est conduit directement dans la direction opposée par l'évaporateur.

La simulation de douze pannes différents comme par exemple, une électrovanne défectueuse ou des conduites bouchées, est activée par un PC à écran tactile.

Les valeurs mesurées sont transmises directement vers le PC à écran tactile et évaluées. Le logiciel permet entre autres la représentation du cycle sur un diagramme log p,h.

Contenu didactique/essais

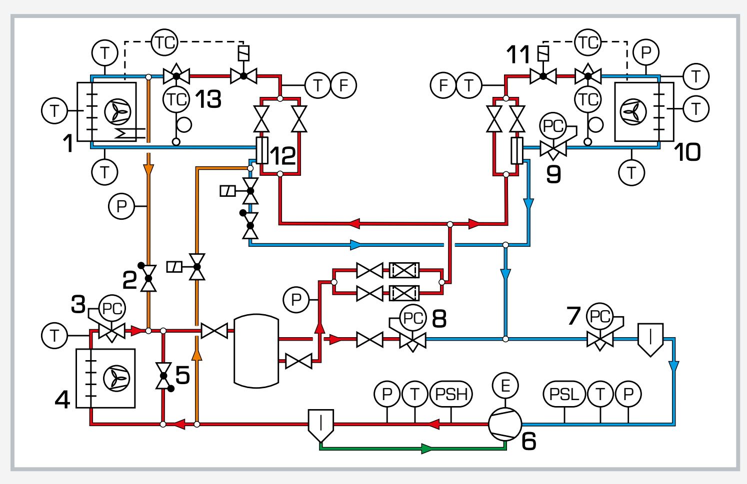
- connaître les dispositifs essentiels de modification de la puissance frigorifique
  - thermostat
  - régulateur de puissance
  - régulateur de démarrage
  - régulateur de pression d'évaporation
  - régulateur de pression de condensation
- recherche de pannes sur les composants de l'installation frigorifique
- influence du surrefroidissement de l'agent réfrigérant
- connaître les méthodes de dégivrage
  - chauffage électrique de dégivrage
  - dégivrage par gaz chauds
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h

ET 422

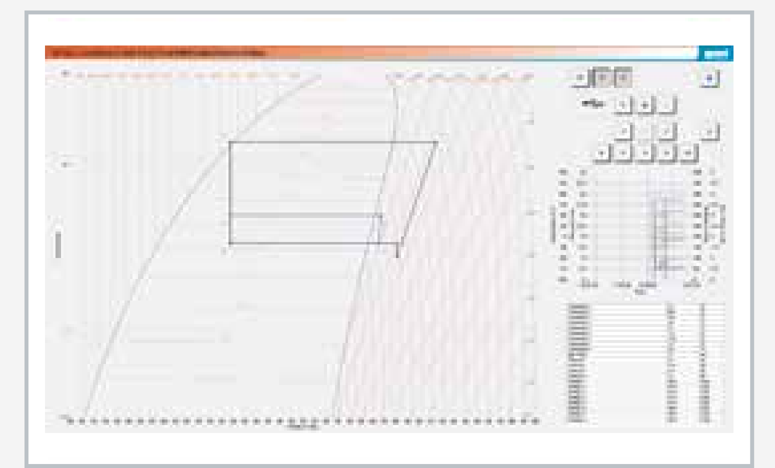
Régulation de puissance et pannes sur les installations frigorifiques



1 soupape de détente, 2 chambre de congélation, 3 thermostat, 4 échangeur de chaleur, 5 électrovanne, 6 condenseur, 7 régulateur de pression de condensation, 8 régulateur de puissance, 9 compresseur, 10 régulateur de démarrage, 11 pressostat, 12 régulateur de pression de l'évaporation, 13 débitmètre, 14 chambre de refroidissement, 15 PC à écran tactile



1 chambre de congélation, 2 soupape de retenue dégivrage par gaz chauds, 3 régulateur de pression de condensation, 4 condenseur, 5 régulateur de pression du réservoir, 6 compresseur, 7 régulateur de démarrage, 8 régulateur de puissance, 9 régulateur de pression d'évaporation, 10 chambre de refroidissement, 11 électrovanne (thermostat), 12 échangeur de chaleur, 13 soupape de détente; T température, P pression, F débit; PSL, PSH pressostat



Capture d'écran du logiciel: diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'une installation frigorifique avec chambre de refroidissement et de congélation
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur, régulateur de puissance, régulateur de démarrage, pressostat combiné et 2 évaporateurs dans les chambres isolées
[3] chaque chambre est équipée d'une électrovanne, d'un thermostat, d'une soupape de détente thermostatique, d'un ventilateur et d'un échangeur de chaleur pour le surrefroidissement de l'agent réfrigérant
[4] chambre de refroidissement avec régulateur de pression d'évaporation
[5] chambre de congélation avec chauffage électrique de dégivrage et dégivrage par gaz chauds
[6] fonctionnement seul ou en parallèle des chambres par électrovannes
[7] simulation de 12 pannes
[8] PC à écran tactile pour l'activation des pannes, l'aquisition de données, l'évaluation y la représentation dans le diagramme log p,h
[9] agent réfrigérant R449A, GWP: 1397

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 1640W à -10/50°C
- puissance absorbée: 980W à -10/50°C

Condenseur avec ventilateur
- débit volumétrique d'air: 570m^3/h

Surfaces de transfert de l'évaporateur
- chambre de refroidissement: 1,12m^2
- chambre de congélation: 1,88m^2

Chauffage de dégivrage électrique: env. 125W
Régulateur de puissance: 0,2...6bar
Régulateur de démarrage: 0,2...6bar
Thermostat: 2x -25...15°C
Régulateur de pression d'évaporation: 0...5,5bar
Agent réfrigérant
- R449A
- GWP: 1397
- volume de remplissage: 3,21kg
- équivalent CO_2: 4,5t

Plages de mesure
- température: 6x -50...50°C; 5x 0...100°C
- pression: 3x -1...15bar; 2x -1...24bar
- débit: 2x 2...29L/h
- puissance absorbée: 0...5kW (compresseur)

400V, 50Hz, 3 phases
230V, 60Hz, 3 phases; 400V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2420x780x1900mm
Poids: env. 280kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique



ET 150.01
Appareil de remplissage et d'évacuation d'agent réfrigérant



Description

- **évacuation et remplissage d'installations frigorifiques**
- **adapté à le réfrigérant R513A**

L'accessoire ET 150.01 sert à l'évacuation et au remplissage des installations frigorifiques. Les composants utilisés sont couramment utilisés dans le domaine du génie frigorifique et sont donc de très bonne qualité.

L'installation frigorifique est évacuée avec une pompe à vide. L'air et l'humidité sont retirés de l'installation frigorifique grâce à l'évacuation par la pompe à vide, de sorte à ce que le remplissage d'agent réfrigérant ultérieur puisse être effectué. La quantité correcte d'agent réfrigérant est surveillée par la balance de remplissage.

Contenu didactique/essais

- préparer la station de remplissage
- évacuer l'installation frigorifique
- remplir l'installation frigorifique

Spécification

[1] appareil portable
[2] pompe à vide et balance de remplissage
[3] aide d'assemblage quatre voies
[4] manomètre à amortisseurs de pulsation pour pression d'aspiration et haute pression; vacuomètre
[5] manomètre pour pression d'aspiration et haute pression
[6] raccords pour haute pression et pression d'aspiration

Caractéristiques techniques

Pompe à vide
- puissance du moteur: 0,25kW

Volume d'aspiration: 66L/min

Vide final: 0,02mbar

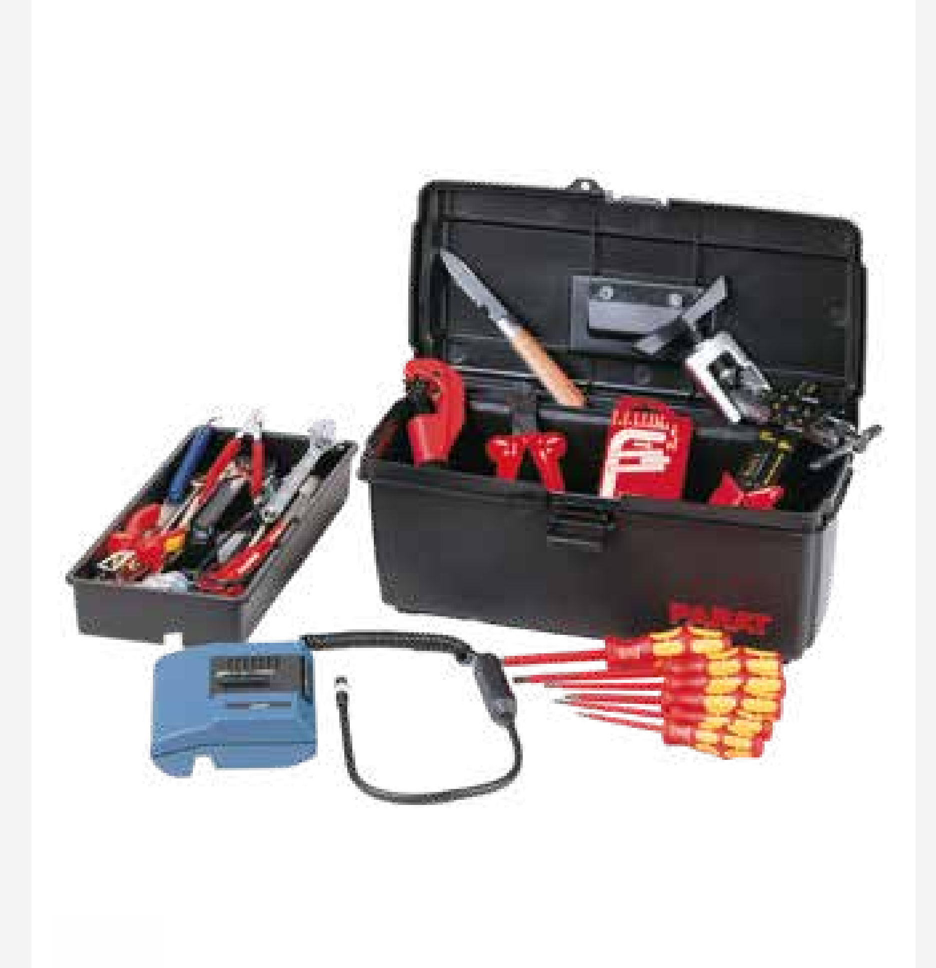
Plages de mesure
- pression d'aspiration: -1...8bar
- haute pression: 0...31bar
- vide: 0...1000mbar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 510x175x485mm
Lxlxh: 370x270x60mm (balance)
Poids: env. 15kg

Liste de livraison

1 pompe à vide
3 tuyaux de remplissage
1 balance
1 notice

ET 150.02
Jeu d'outils



Description

- **mallette contenant des outils pour le montage et la maintenance des installations frigorifiques**

Avec l'ET 150.02, des travaux d'entretien et de dépannage des systèmes de réfrigération sont réalisés.

Les outils suivants sont chacun contenus une fois avec: coupe-tube, clé à molette, pince à sertir, appareil pour collets, outil à ébavurer, pince coupante, couteau à câble, outil à sertir, pince à dénuder, kit de clés Allen (7 pièces), kit pinces à courber pour tubes (3 pièces), kit de tournevis (4x plats, 2x Philips), kit clés mixtes œil et plate (17 pièces), règle en acier, petite scie, fraise d'ébavurage, lime.

Un multimètre est également contenu pour la recherche des pannes électriques. Le contrôle d'étanchéité de l'installation frigorifique est effectué par un détecteur de fuite de grande valeur pour les gaz des agents réfrigérants.

Une mallette à outils solide en plastique est également livrée.

Spécification

[1] outillage usuel pour le montage et la maintenance des installations frigorifiques
[2] détecteur de fuite à piles, adapté pour l'agent réfrigérant R513A
[3] multimètre numérique pour courant continu et courant alternatif, à piles

Caractéristiques techniques

Lxlxh: 420x210x180mm (mallette)
Poids: env. 10kg

Liste de livraison

1 mallette
1 jeu d'outils
1 détecteur de fuite
1 multimètre

4

Pompes à chaleur et accumulateur de glace



Pompes à chaleur

Accumulateur de glace



Connaissances de base

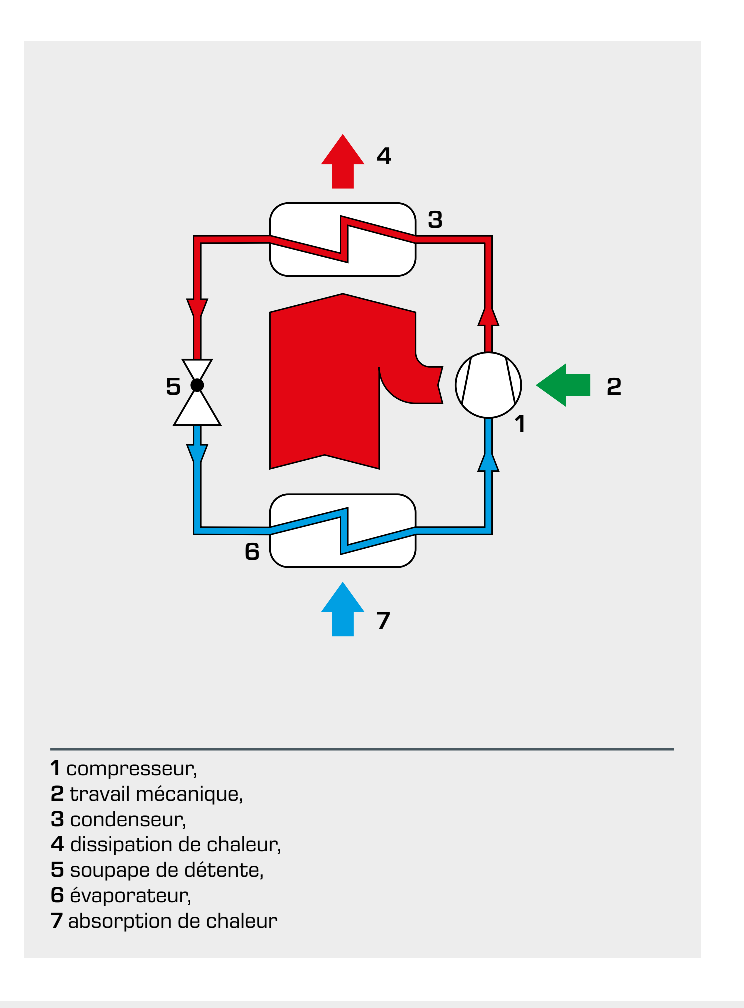
Pompes à chaleur

Qu'est-ce qu'une pompe à chaleur?

Une pompe à chaleur est un dispositif qui transporte de la chaleur d'un niveau de température bas, vers un niveau de température plus élevé. Pour effectuer cela, elle a besoin d'une puissance d'entraînement. Cette dernière peut être mécanique, électrique ou thermique. Les pompes à chaleur les plus courantes fonctionnent selon le principe de la frigorifique par compression. On trouve aussi, mais plus rarement, des pompes à chaleur basées sur le processus d'absorption.

Le COP est un indicateur important du fonctionnement des pompes à chaleur. COP signifie "Coefficient of Performance". Le COP caractérise l'efficacité de fonctionnement d'une pompe à chaleur. Le COP correspond au rapport entre la puissance thermique et la puissance d'entraînement requise pour atteindre cette puissance thermique. Cette valeur est très utile pour comparer des pompes à chaleur différentes entre elles.

Le COP dépend directement de la température de la source de chaleur, et de la température de chauffage du bâtiment. C'est pourquoi le COP varie à chaque point de fonctionnement de la pompe à chaleur. Plus le COP est élevé, plus la pompe à chaleur fonctionne de manière efficace.



1 compresseur,
2 travail mécanique,
3 condenseur,
4 dissipation de chaleur,
5 soupape de détente,
6 évaporateur,
7 absorption de chaleur

Où la pompe à chaleur trouve-t-elle son énergie?

De manière générale, la pompe à chaleur prélève de l'énergie dans l'environnement: la plupart du temps dans l'air, les eaux souterraines, la terre ou les eaux fluviales. Lorsque cette énergie est prélevée dans le sol, on parle de géothermie de surface. Pour obtenir un rendement élevé, il est important que la température de la source d'énergie soit aussi élevée et constante que possible. Cette température ne doit pas trop baisser en hiver, au moment où la puissance de chauffe à fournir est la plus élevée. En ce qui concerne les eaux souterraines et la terre, les échangeurs de chaleur doivent avoir de très grandes dimensions afin d'éviter tout refroidissement local. Pour choisir la source de chaleur adéquate, il faut mettre en regard l'investissement financier, le rendement, la disponibilité et les démarches requises pour obtenir les autorisations. L'utilisation de la chaleur perdue de faible niveau, comme l'air extrait ou l'eau de refroidissement, constitue une option avantageuse.

Source d'énergie	Avantage	Inconvénient
air extérieur	investissements faibles	COP inférieur en hiver
eaux fluviales	investissements faibles	COP inférieur en hiver
eaux souterraines	bonne puissance constante	investissements plus élevés, autorisations requises
terre	bonne puissance constante	plus grande surface requise

Une pompe à chaleur peut chauffer ou refroidir

Étant donné que leur principe de fonctionnement est le même, la pompe à chaleur peut également fonctionner en tant que machine frigorifique. Cela permet d'utiliser une seule et même installation pour chauffer en hiver et refroidir en été. Il suffit pour cela d'inverser les fonctions de l'évaporateur et du condenseur. Ce qui s'effectue en commutant deux soupapes de retenue et une seconde soupape de détente. La plupart des climatiseurs split ont une fonction intégrée de chauffage pour le refroidissement des pièces.

chaleur
3
4
TC
TC
2
5
1
6

Été

1 dissipateur thermique, **2** condenseur,
3 soupape de détente 1,
4 soupape de détente 2, **5** évaporateur,
6 compresseur,
circuit d'eau/de saumure,
agent réfrigérant (basse pression),
agent réfrigérant (haute pression)

chaleur
4
3
TC
TC
2
5
1
6

Hiver

1 source de chaleur, **2** condenseur, **3** soupape de détente 1,
4 soupape de détente 2, **5** évaporateur, **6** compresseur,
circuit d'eau/de saumure,
agent réfrigérant (basse pression),
agent réfrigérant (haute pression)



ET 102
Pompe à chaleur



Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une pompe à chaleur air-eau
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- bilans énergétiques
- détermination des grandeurs caractéristiques importantes
  - rapport de pression du compresseur
  - coefficient de performance idéal
  - coefficient de performance réel
- dépendance du coefficient de performance réel de la différence de température (air-eau)
- comportement en service sous charge

Description

- **utilisation de la chaleur ambiante pour un chauffage d'eau**
- **affichage de toutes les valeurs pertinentes sur le lieu de la mesure**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

Dans le cas de la pompe à chaleur air-eau ET 102, on utilise la chaleur ambiante pour chauffer l'eau.

Le circuit de la pompe à chaleur se compose d'un compresseur, d'un condenseur avec ventilateur, d'une soupape de détente thermostatique, et d'un échangeur de chaleur à serpentin en guise de condenseur. Tous les composants sont disposés de manière visible sur le banc d'essai.

La vapeur d'agent réfrigérant comprimée se condense dans le tube extérieur du condenseur, et rend ainsi de la chaleur à l'eau contenue dans le tuyau intérieur. L'agent réfrigérant liquide s'évapore à une pression basse dans l'évaporateur à tube à ailettes, et absorbe ainsi de la chaleur provenant de l'air ambiant.

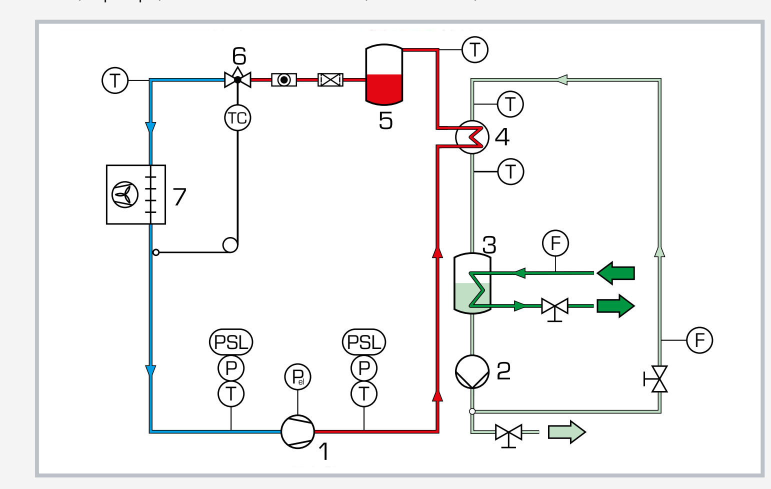
Le circuit d'eau chaude se compose d'un réservoir, d'une pompe et d'un condenseur comme dispositif de chauffage. Pour un fonctionnement continu, la chaleur perdue est évacuée par un raccord d'eau de refroidissement externe. Le débit d'eau de refroidissement est ajusté et mesuré par une soupape.

Toutes les valeurs de mesure pertinentes sont prises en compte par des capteurs et affichées. La transmission simultanée des valeurs de mesure à un logiciel d'acquisition de données permet l'évaluation aisée, et la représentation des processus sous forme de diagramme log p,h. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. Le logiciel affiche également les grandeurs caractéristiques les plus importantes du processus comme, par exemple, le rapport de pression du compresseur et les coefficients de performance.

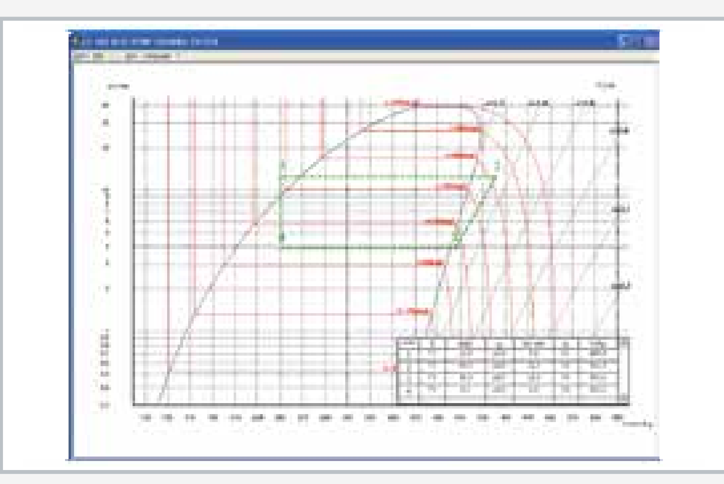
ET 102
Pompe à chaleur



1 soupape de détente, 2 condenseur avec ventilation, 3 capteur de pression, 4 pressostat, 5 éléments d'affichage et de commande, 6 compresseur, 7 débitmètre eau de refroidissement, 8 pompe, 9 réservoir d'eau chaude, 10 réservoir, 11 condenseur



1 compresseur, 2 pompe, 3 réservoir d'eau avec raccord d'eau de refroidissement externe, 4 condenseur, 5 réservoir, 6 soupape de détente, 7 évaporateur avec ventilateur; T température, P pression, F débit, P_{el} puissance, PSH, PSL pressostat; bleu-rouge: circuit frigorifique, vert clair: circuit d'eau chaude, vert: eau de refroidissment



Capture d'écran du logiciel: le diagramme log p,h

Spécification

[1] étude d'une pompe à chaleur avec circuit d'eau comme charge de refroidissement
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur avec ventilateur, soupape de détente thermostatique et échangeur de chaleur à serpentin comme condenseur
[3] circuit d'eau chaude avec pompe, réservoir et condenseur comme dispositif de chauffage
[4] refroidissement supplémentaire par serpentin dans le réservoir d'eau chaude et eau de refroidissement externe
[5] acquisition et affichage de toutes les valeurs de mesure pertinentes
[6] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 372W à 7,2/55°C
- puissance absorbée: 205W à 7,2/55°C

Échangeur de chaleur à serpentin (condenseur)
- contenu d'agent réfrigérant: 0,55L
- contenu d'eau: 0,3L

Évaporateur à tubes à ailettes
- surface de transfert: env. 0,175m^2

Pompe
- débit de refoulement max.: 1,9m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 1,4m

Volume du réservoir d'eau chaude: env. 4,5L

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 1kg
- équivalent CO_2: 0,6t

Plages de mesure
- pression: 2x -1...15bar
- température: 4x 0...100°C, 2x -100...100°C
- puissance: 0...6000W
- débit: 0...108L/h (eau)
- débit: 10...160L/h (eau de refroidissement)
- débit: 0...17kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1620x790x1910mm
Poids: env. 192kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 405 Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage

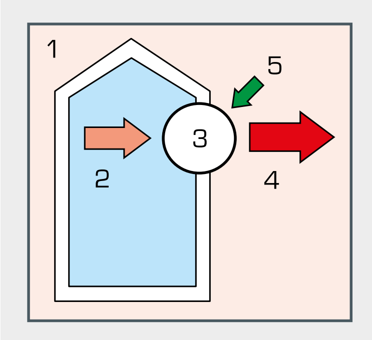
Avec un arrangement adapté du compresseur, des condenseurs et des évaporateurs, la même pompe à chaleur peut être utilisée aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement. Pour la climatisation des bâtiments, cela présente l'avantage de pouvoir, avec un seul système, chauffer les pièces en hiver et les refroidir en été. De plus, des pompes à chaleur sont déjà largement utilisées pour la production d'eau chaude. La source de chaleur joue toujours un rôle central dans la technologie des pompes à chaleur.
Afin de pouvoir utiliser efficacement les sources de chaleur existantes à basse température, la conception de la pompe à chaleur est particulièrement importante.

ET 405 permet de procéder à étude d'un grand nombre de circuiteries des composants. Un compresseur, un condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur) et deux évaporateurs avec ventilateurs (niveau de refroidissement normal et niveau de congélation) sont à disposition. Un échangeur de chaleur à serpentin peut au choix être utilisé comme évaporateur ou comme condenseur. Il relie le circuit de la pompe à chaleur avec un autre circuit, celui-ci étant rempli avec un mélange d'eau glycolée.



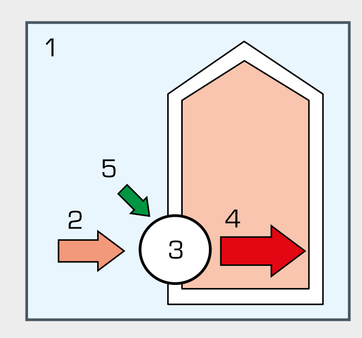
Refroidir et chauffer avec la pompe à chaleur

Refroidir



Lors du refroidissement, c'est la chaleur absorbée sur la pompe qui constitue l'aspect utile. Elle est retirée à la pièce et est émise à l'environnement. À cette fin, on a besoin d'énergie électrique pour faire fonctionner le compresseur de la pompe à chaleur.

Chauffer



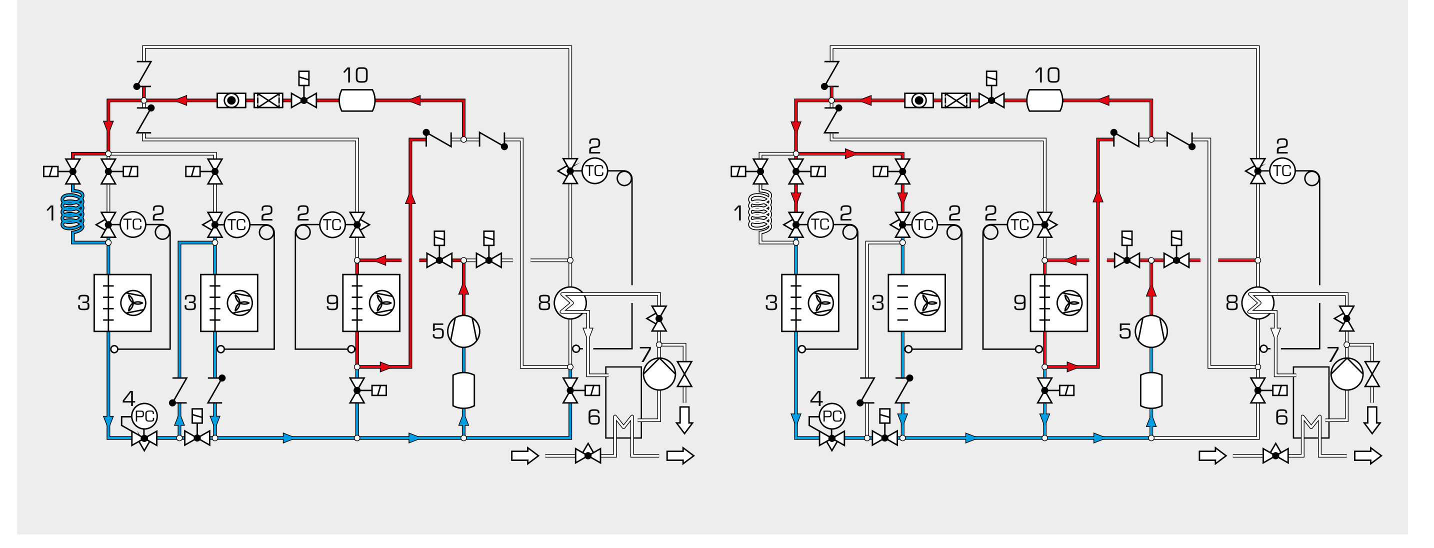
Lors du chauffage, c'est la chaleur émise par la pompe à chaleur qui constitue l'aspect utile. La pompe à chaleur retire de la chaleur à l'environnement et la transmet à la pièce.

1 environnement, **2** chaleur absorbée, **3** pompe à chaleur, **4** chaleur émise, **5** énergie électrique

Différents modes de fonctionnement pour des applications typiques

Deux évaporateurs – montés en série ou en parallèle

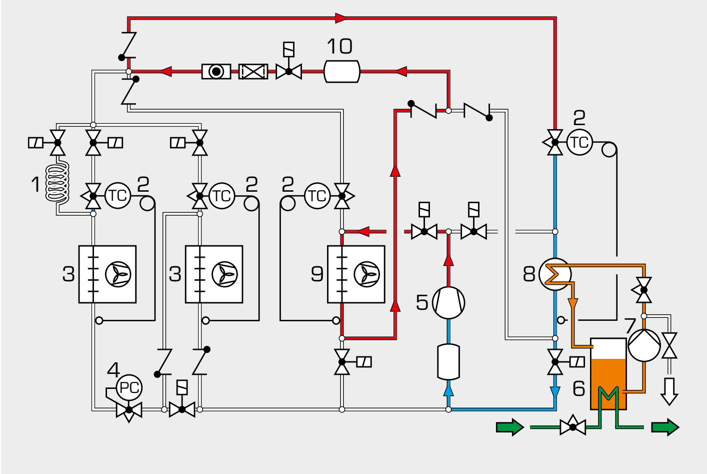
Les deux évaporateurs peuvent au choix être montés en parallèle ou en série. Il est également possible de n'utiliser qu'un seul évaporateur. Le condenseur **9** opère comme réchauffeur d'air. Les deux évaporateurs **3** absorbent de la chaleur provenant de l'environnement.



1 tube capillaire, **2** soupape de détente, **3** évaporateur, **4** régulateur de pression d'évaporation, **5** compresseur, **6** réservoir pour eau glycolée, **7** pompe, **8** échangeur de chaleur à serpentin, **9** échangeur de chaleur avec ventilateur, **10** réservoir

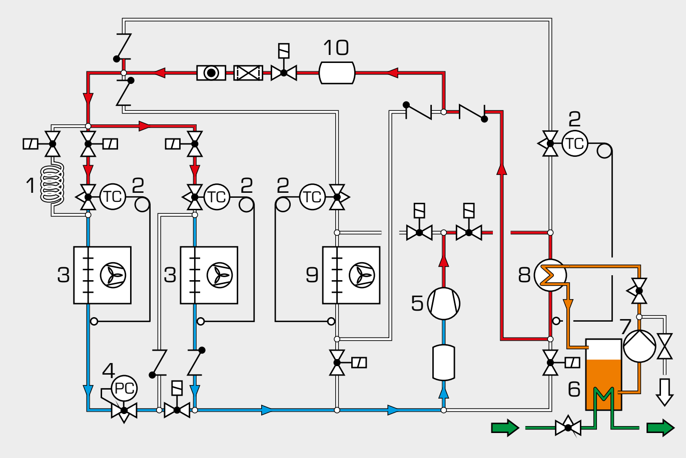
Échangeur de chaleur à serpentin comme évaporateur (refroidir)

L'agent réfrigérant et condensé est détendu avec une soupape de détente thermostatique **2** et s'évapore dans l'échangeur de chaleur à serpentin **8**. Ainsi le mélange d'eau glycolée est refroidi. La condensation de l'agent réfrigérant a lieu dans l'échangeur de chaleur à tubes à ailettes **9**, refroidi par air. Dans le reservoir **6**, le mélange d'eau glycolée absorbe de la chaleur sur le serpentin traversé par de l'eau.



Échangeur de chaleur à serpentin comme condenseur (chauffer)

La vapeur de l'agent réfrigérant traverse l'échangeur de chaleur à serpentin **8**. Là, l'agent réfrigérant est condensé et réchauffe le mélange d'eau glycolée. L'agent réfrigérant traverse ensuite deux évaporateurs **3** qui sont au choix montés en parallèle ou en série. Dans le reservoir **6**, le mélange d'eau glycolée transmet sa chaleur à un serpentin refroidi par eau.



ET 405
Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



Description

- **pompe à chaleur air-eau**
- **modes de chauffage et de refroidissement possibles**
- **rapport pratique élevé dû à l'utilisation de composants industriels du génie frigorifique**
- **différents modes de fonctionnement ajustables par électrovannes**

Les installations frigorifiques et les pompes à chaleur se différencient seulement dans la définition d'utilisation, mais peuvent être conçues de la même manière. Les marchandises dans un supermarché peuvent être refroidies et chauffées avec la chaleur perdue de l'espace de vente. Il est également possible de refroidir l'espace de vente en été avec la même installation.

Il est possible d'étudier le mode de chauffage et de refroidissement avec l'ET 405. Différents modes de fonctionnement peuvent être sélectionnés par électrovannes.

Le circuit frigorifique avec compresseur et condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur) contient deux évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation) et des soupapes de détente thermostatiques. Les deux évaporateurs peuvent être montés en parallèle ou en série. Un tube capillaire fait office d'élément d'expansion pour le montage en série à l'évaporateur de niveau de refroidissement normal. Le circuit de l'agent réfrigérant est lié à un circuit d'eau glycolée par l'échangeur de chaleur à serpentin. L'échangeur de chaleur à serpentin peut être commuté comme évaporateur ou condenseur grâce aux électrovannes. Le mélange d'eau glycolée dans le réservoir peut ainsi être chauffé ou refroidi. En mode de refroidissement pur (sans fonction de chauffage), l'échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur reprend la dissipation de la chaleur. Cet échangeur peut aussi être commuté comme évaporateur grâce aux électrovannes.

Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Le logiciel permet une représentation claire du processus.

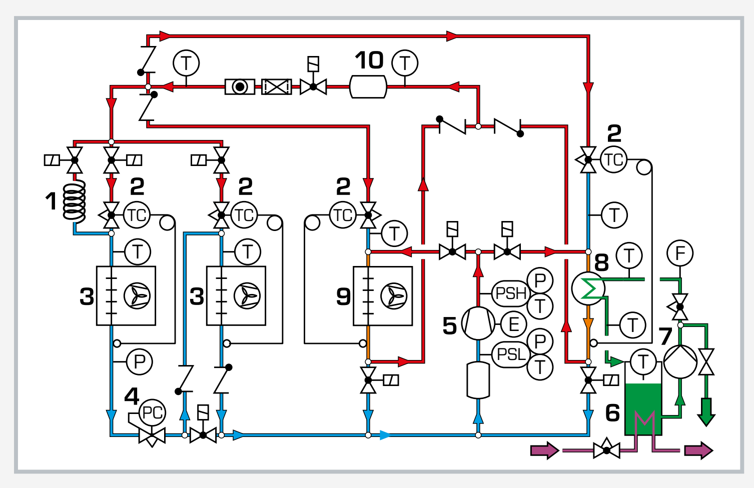
Contenu didactique/essais

- structure, fonctionnement et composants essentiels d'une pompe à chaleur ou d'une installation frigorifique
- représentation du cycle thermodynamique sur le diagramme log p,h
- comparaison de différents modes de fonctionnement
- mesure de la puissance du compresseur, et de la puissance calorifique et de refroidissement du circuit d'eau glycolée
- détermination de
  - rendement
  - coefficient de performance de la pompe à chaleur et de l'installation frigorifique
  - travail spécifique du compresseur
  - rapport de pression de compresseur
  - puissance de refroidissement spécifique
  - puissance frigorifique spécifique
- comparaison des grandeurs caractéristiques pompe à chaleur-installation frigorifique

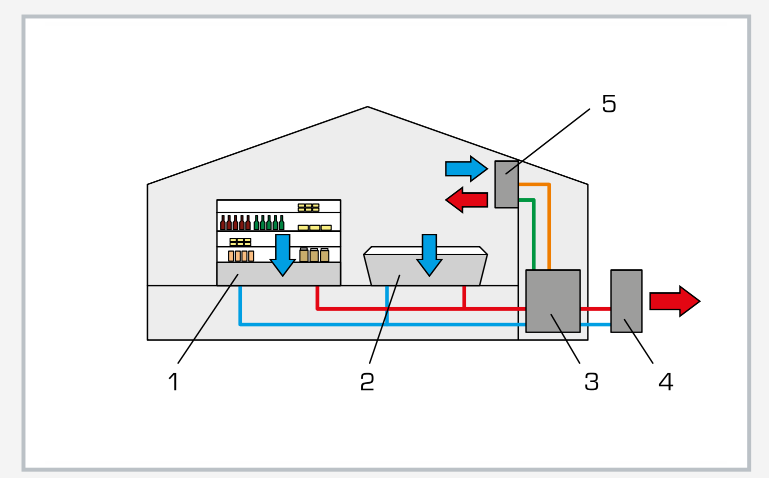
ET 405
Pompe à chaleur pour mode de refroidissement et de chauffage



1 évaporateur, 2 soupape de détente, 3 tube capillaire, 4 évaporateur (congélation), 5 régulateur de pression d'évaporation, 6 compresseur, 7 réservoir, 8 échangeur de chaleur avec ventilateur, 9 pompe, 10 éléments d'affichage et de commande, 11 réservoir pour mélange d'eau glycolée, 12 débitmètre (eau glycolée), 13 électrovanne, 14 échangeur de chaleur à serpentin



1 tube capillaire, 2 soupape de détente, 3 évaporateur, 4 régulateur de pression d'évaporation, 5 compresseur, 6 réservoir pour eau glycolée, 7 pompe, 8 échangeur de chaleur à serpentin, 9 échangeur de chaleur avec ventilateur, 10 réservoir; T température, P pression, F débit, PSH, PSL pressostat



Utilisation en supermarché: 1 meubles de refroidissement, 2 congélateur, 3 pompe à chaleur, 4 condenseur externe, 5 convecteur pour chauffer ou refroidir l'espace de vente

Spécification

[1] différents modes de fonctionnement pouvant être sélectionnés par électrovannes
[2] circuit frigorifique avec compresseur, condenseur (échangeur de chaleur avec ventilateur), 2 évaporateurs avec ventilateur (niveaux de refroidissement normal et de congélation)
[3] circuit d'eau glycolée avec réservoir, pompe et échangeur de chaleur à serpentin
[4] échangeur de chaleur à serpentin et échangeur de chaleur avec ventilateur comme condenseur ou évaporateur, utilisables dans le circuit frigorifique
[5] 1 soupape de détente thermostatique pour chaque échangeur de chaleur et pour chaque évaporateur
[6] en plus, 1 régulateur de pression de compression et 1 tube capillaire pour l'évaporateur (refroidissement normal)
[7] affichages de température, pression, débit et puissance absorbée du compresseur
[8] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 1561W à 5/40°C
- puissance absorbée: 759W à 5/40°C

Échangeur de chaleur avec ventilateur
- surface de transfert: 1,25m²
- débit volumétrique d'air: 650m³/h

Évaporateurs avec ventilateur
- niveau de refroissement normal surface de transfert: 1,21m², débit volumétrique d'air: 80m³/h
- niveau de refroissement de congélation surface de transfert: 3,62m², débit volumétrique d'air: 125m³/h

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 1,5kg
- équivalent CO_2: 0,9t

Plages de mesure
- température: 11x -50...150°C
- pression: 2x -1...15bar, 1x -1...24bar
- débit: 2,5...65g/s
- puissance: 0...1150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2210x800x1900mm
Poids: env. 330kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



HL 320.01
Pompe à chaleur



Description

- **banc d'essai provenant du système modulaire HL 320**
- **pompe à chaleur pour le fonctionnement avec différentes sources**
- **plusieurs variantes d'installations sont possibles en combinaison avec les autres modules HL 320**

Le système modulaire HL 320 permet la réalisation d'essais pour la production, le stockage et l'exploitation de la chaleur issue des énergies renouvelables. HL 320.01 est un module de ce système et comprend une pompe à chaleur, qui peut être reliée à différents sources et consommateurs de chaleur.

La pompe à chaleur se compose d'un compresseur, d'un condenseur, d'une soupape de détente et d'un évaporateur. Ces composants sont reliés entre eux par un circuit frigorifique. L'agent réfrigérant, entraîné par le compresseur, circule dans le circuit frigorifique. L'énergie thermique d'une source est absorbée au niveau de l'évaporateur. De l'énergie supplémentaire est ajoutée à l'agent réfrigérant évaporé dans le compresseur. Cette énergie peut être rendue sous forme de chaleur à un consommateur dans le condenseur.

Sur le banc d'essai HL 320.01, le condenseur peut être rattaché à différents consommateurs dans un circuit de chauffage. L'évaporateur peut être relié à différentes sources de chaleur dans un circuit de source. Pour chacun de ces raccordements, la tuyauterie correspondante avec accouplement rapide, pompes de circulation et accessoires nécessaires est disponible.

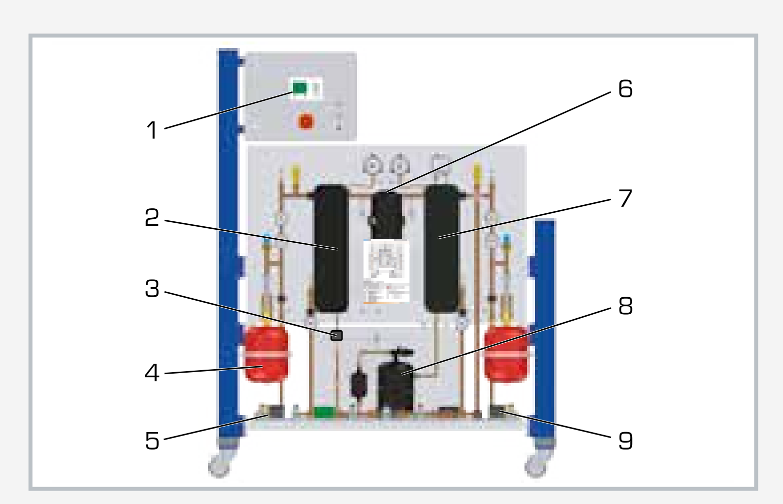
Selon le cas d'utilisation, il est régulièrement nécessaire d'utiliser, dans la pratique, des configurations différentes d'installations pour une efficacité optimale de l'installation de chauffage. Grâce au HL 320.01 et à d'autres modules HL 320, les variantes possibles d'intégration d'une pompe à chaleur dans une installation moderne de chauffage peuvent être étudiées de manière systématique.

Une documentation didactique bien structurée concernant les associations de modules recommandées avec le module HL 320.01 a été conçue. Intégrée à la documentation du système modulaire HL 320, elle expose les principes de base et guide l'étudiant dans la réalisation des essais.

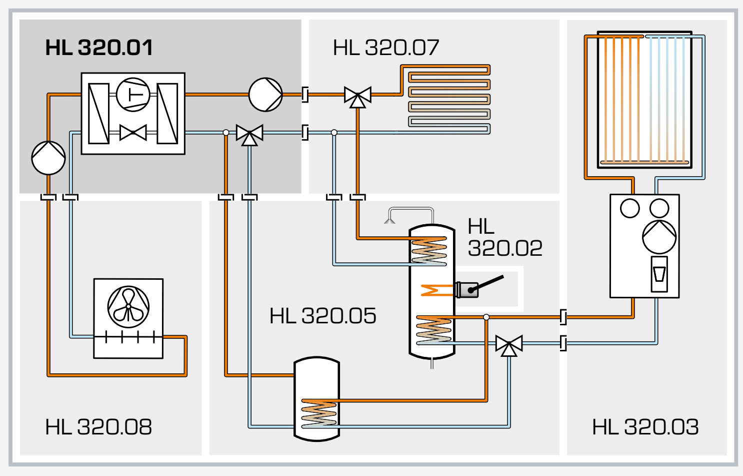
Contenu didactique/essais

- introduction aux applications des pompes à chaleur pour chauffage domestique et préparation d'eau chaude
- utilisation de la pompe à chaleur pour le refroidissement
- avantages et inconvénients de différentes configurations d'installations (pompe à chaleur à eau glycolée, pompe à chaleur à air)
- réglage et adaptation d'un régulateur de pompe à chaleur
- comportement en service en cas d'offres et de besoins de chaleur variables
- dépendance du coefficient de performance à la température des sources et des dissipateurs
- possibilités d'optimisation du coefficient de performance annuel

HL 320.01
Pompe à chaleur



1 régulateur, 2 évaporateur, 3 soupape de détente, 4 vase d'expansion, 5 pompe du circuit source, 6 compresseur scroll, 7 condenseur, 8 réservoir, 9 pompe du circuit de chauffage



Intégration du HL 320.01 dans une configuration possible du système modulaire HL 320

	1	2	3	4	5
HL 320.01			x	x	x
HL 320.02		x			x
HL 320.03	x	x		x	x
HL 320.04	(x)	(x)		(x)	(x)
HL 320.05	x	x		x	x
HL 320.07		x	x	x	x
HL 320.08			x	x	x

Combinaisons recommandées du système modulaire HL 320

Spécification

[1] pompe à chaleur pour le système modulaire HL 320
[2] raccords pour différents sources ou dissipateurs de chaleur
[3] respectivement une pompe de circulation et un groupe de sécurité avec vase d'expansion pour circuit de chauffage et de source
[4] capteur de température, débit et pression avec raccordement au régulateur
[5] régulateur avec enregistreur de données et raccordement LAN pour commande et acquisition de données
[6] logiciel de transmission, représentation et exploitation des données de mesure du régulateur
[7] refrigerant R410A, GWP: 2088

Caractéristiques techniques

Pompe à chaleur
- puissance thermique: env. 2,3kW à 5/65°C

Pompes des circuits de chauffage et de source
- débit de refoulement max.: 3m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 4m

Régulateur universel
- entrées: jusqu'à 16
- sorties: jusqu'à 16
- interfaces: DL-Bus, CAN, LAN

Agent réfrigérant
- R410A, GWP: 2088, volume de remplissage: 2,4kg équivalent CO_2: 5t

Plages de mesure
- température:
  - 4x -50...180°C
  - 3x 0...120°C
  - 1x -20...60°C
- débit: 2x 0,02...1,5m^3/h (eau)
- pression:
  - 1x -1...15bar
  - 1x -1...49bar
  - 2x 0...6bar
  - 2x 0...50bar
  - 1x 0...18bar
  - 2x 0...10bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1500x800x1700mm
Poids: env. 125kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 notice



ET 420 Accumulateurs de glace en génie frigorifique

Plus l'alimentation en énergie est décentralisée, plus il est essentiel de pouvoir stocker cette énergie. Depuis des années, l'ingénierie de bâtiment stocke efficacement l'énergie thermique destinée au chauffage de l'eau sanitaire. Par contre, l'utilisation d'accumulateurs de glace pour le refroidissement des bâtiments demeure l'exception.

La chaleur à évacuer pour le refroidissement des bâtiments varie d'un jour à l'autre. Le besoin de refroidissement est en général beaucoup plus élevé dans la journée que pendant la nuit. Pour être en mesure de refroidir les bâtiments même lorsque les exigences de charge sont à leur niveau le plus élevé, les installations frigorifiques sont dimensionnées en fonction du pic de charge attendu. Ce qui entraîne un surdimensionnement du génie frigorifique, si bien que les installations concernées fonctionnent de manière très inefficace en comportement à charge partielle.

Des accumulateurs de glace peuvent être utilisés pour soutenir le fonctionnement de l'installation frigorifique lorsque les charges de refroidissement sont particulièrement élevées. On utilise les accumulateurs de glace pour renforcer l'installation frigorifique, principalement dans les bâtiments non habités de grande dimension. En cas de faibles besoins de froid, l'accumulateur est alimenté par l'installation frigorifique, et peut être à nouveau déchargé en cas de pics de charge pour venir en renfort de cette dernière. Cette méthode permet de réduire le dimensionnement du génie frigorifique. L'utilisation d'installations frigorifiques entraîne une baisse des coûts de fonctionnement et d'acquisition.

Lorsque l'on évacue de la chaleur d'un accumulateur de liquide, la température du fluide de stockage baisse. L'eau reste liquide et l'état physique reste le même. L'accumulateur de glace appartient au contraire au groupe des accumulateurs latents. L'eau contenue dans l'accumulateur de glace modifie son état physique. La température de l'eau reste constante durant la transition entre phases. Si la chaleur continue d'être évacuée, l'eau contenue dans l'accumulateur de glace reste à une température constante de 0°C. L'énergie évacuée correspond au travail issu du changement de phase lors du gel de l'eau.

Pour décharger l'accumulateur de glace, de la chaleur est transférée à la glace. La température reste constante jusqu'à ce que toute la glace de l'accumulateur ait fondu. Le processus du changement de phase permet l'accumulation d'une grande quantité d'énergie thermique avec un faible différentiel de température.

L'ET 420 offre une installation frigorifique avec accumulateur de glace dont le fonctionnement peut être entièrement ajusté aux besoins. Le concept de l'installation comprend une tour de refroidissement par voie sèche 9, qui représente pendant les essais l'échangeur de chaleur dans le bâtiment à alimenter, ainsi qu'une tour de refroidissement par voie humide 8, qui représente la libération de chaleur dans l'air ambiant. L'accumulateur de glace permet la réalisation de différents états de fonctionnement afin de répondre efficacement aux besoins fluctuants de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment.

En modifiant la position des soupapes, il est possible d'ajuster les états de fonctionnement suivants:

- chargement de l'accumulateur de glace
- refroidissement par l'accumulateur de glace
- refroidissement par l'installation frigorifique
- refroidissement par l'installation frigorifique et l'accumulateur de glace
- chauffage par la pompe à chaleur
- chauffage par la pompe à chaleur et chargement de l'accumulateur de glace
- dissipation de la chaleur par la tour de refroidissement par voie humide

1 armoire de commande,
2 réservoir de stockage de glycol,
3 pompes de circulation,
4 accumulateur de glace,
5 compresseur d'agent réfrigérant,
6 condenseur d'agent réfrigérant,
7 évaporateur d'agent réfrigérant,
8 tour de refroidissement par voie humide,
9 tour de refroidissement par voie sèche



Banc d'essai avec installation frigorifique et accumulateur de glace



Tour de refroidissement par voie humide



Tour de refroidissement par voie sèche

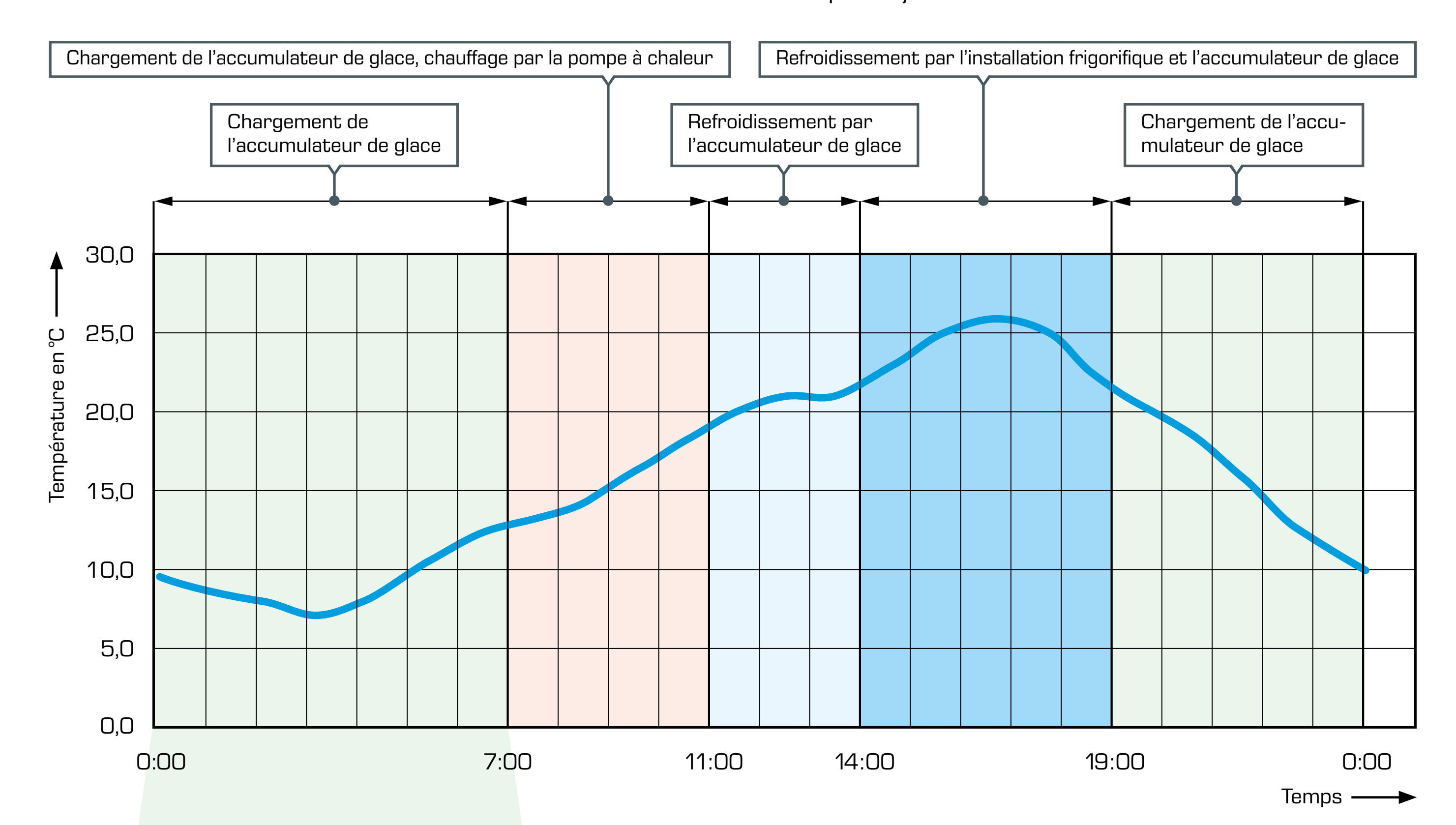


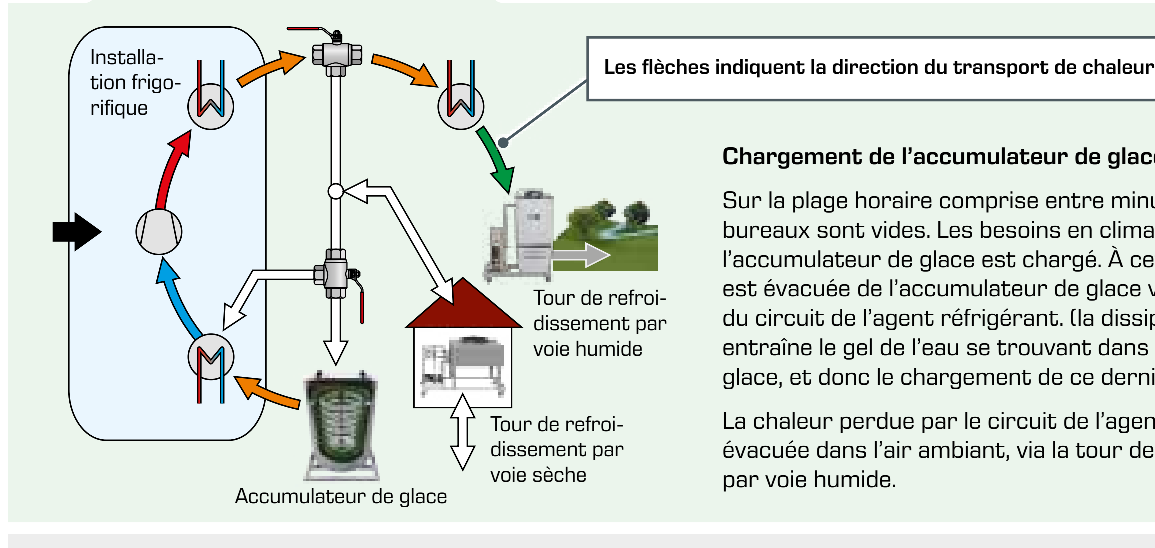
ET 420 Accumulateurs de glace en génie frigorifique

Exemple d'alimentation thermique d'un bâtiment: les modes de fonctionnement de l'ET 420

Ce qui suit montre comment fonctionne, dans la pratique, une alimentation en énergie thermique adaptée à la demande par le biais d'une installation frigorifique avec accumulateur de glace. On considère à cet effet, à titre d'exemple, le profil de charge d'un immeuble de bureaux à alimenter.

Pour montrer le fonctionnement de l'accumulateur de glace, on prend l'exemple du cycle d'une journée. L'objectif principal est de réagir à des charges de refroidissement et de chauffage variables, et d'assurer une alimentation efficace du bâtiment par une séquence judicieuse d'états de fonctionnement.



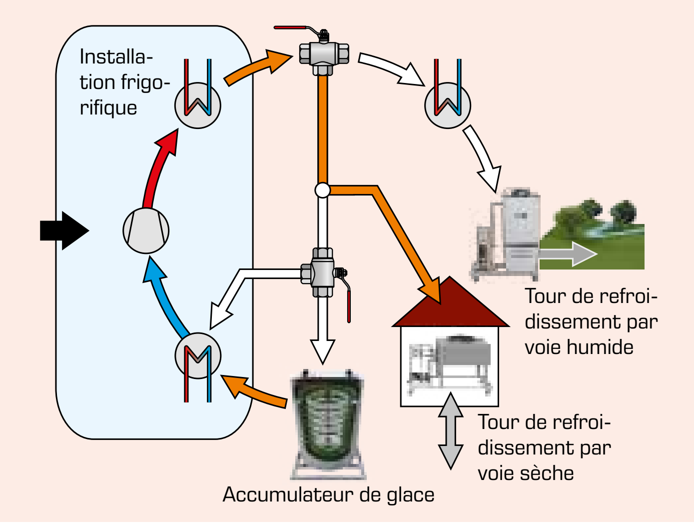


Chargement de l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre minuit et 07h, les bureaux sont vides. Les besoins en climatisation sont nuls, l'accumulateur de glace est chargé. À cet effet, la chaleur est évacuée de l'accumulateur de glace via l'évaporateur du circuit de l'agent réfrigérant. (la dissipation de la chaleur entraîne le gel de l'eau se trouvant dans l'accumulateur de glace, et donc le chargement de ce dernier.)

La chaleur perdue par le circuit de l'agent réfrigérant est évacuée dans l'air ambiant, via la tour de refroidissement par voie humide.

glycol, agent réfrigérant LP, agent réfrigérant HP,
eau, air, puissance électrique, processus inactif

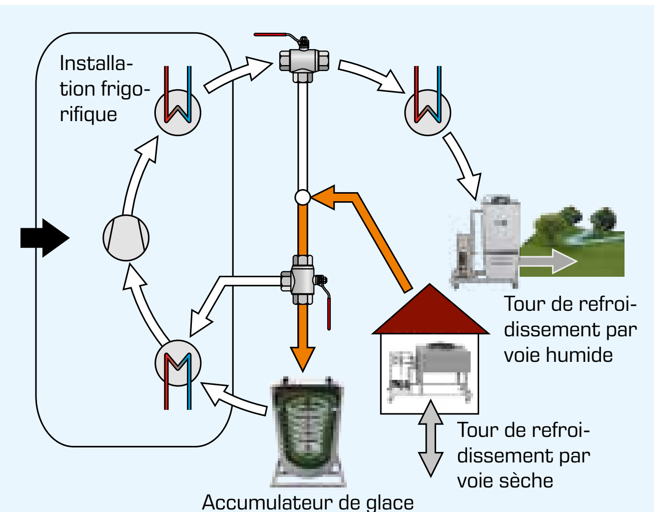


Chargement de l'accumulateur de glace et chauffage par chaleur perdue

Sur la plage horaire du matin comprise entre 07h et 11h, la température à l'intérieur du bâtiment est < 20°C. Il y a un besoin de chauffage.

La chaleur qui apparaît pendant le processus de charge de l'accumulateur de glace peut être utilisée pour le chauffage. À cet effet, la chaleur est évacuée de l'accumulateur de glace via l'évaporateur du circuit de l'agent réfrigérant. La dissipation de la chaleur permet de charger l'accumulateur de glace.

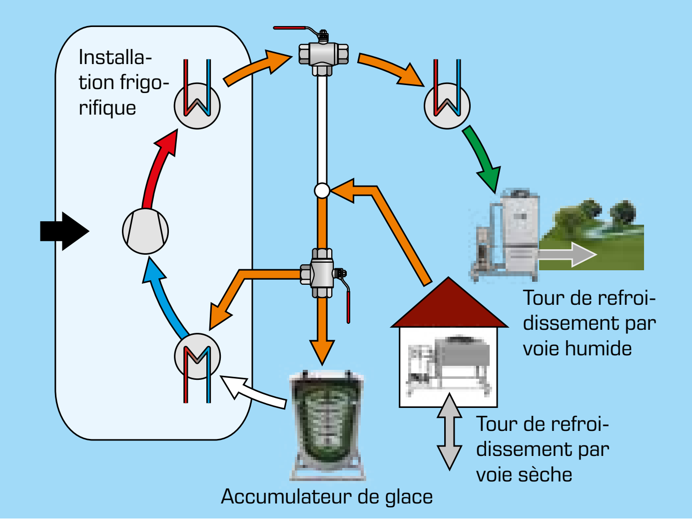
La chaleur perdue utile, provenant du circuit de l'agent réfrigérant, est transférée à la tour de refroidissement par voie sèche via le condenseur, ce qui permet de chauffer le bâtiment. Le système fonctionne en mode pompe à chaleur, en utilisant simultanément de la chaleur et du froid.



Refroidissement par l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre 11h et 14h, les températures à l'intérieur du bâtiment sont comprises entre 20 et 23°C. Les besoins de froid sont relativement bas et peuvent être couverts par l'accumulateur de glace.

La glace contenue dans l'accumulateur de glace fond, et absorbe la chaleur de la tour de refroidissement par voie sèche. Ce qui a pour effet de refroidir la tour de refroidissement par voie sèche. Et donc de refroidir le bâtiment. Il n'est pas nécessaire de faire fonctionner l'installation frigorifique pour évacuer la charge de refroidissement.



Refroidissement par l'installation frigorifique et l'accumulateur de glace

Sur la plage horaire comprise entre 14h et 19h, les températures dans le bâtiment sont comprises entre 23 et 27°C. Ce pic de charge dans la charge de refroidissement est couvert par le refroidissement combiné de l'accumulateur de glace et de l'installation frigorifique.

Pour cela, de la chaleur provenant de la tour de refroidissement par voie sèche est évacuée, ce qui permet de refroidir le bâtiment. Une partie de cette chaleur est transférée à l'accumulateur de glace, ce qui fait fondre la glace contenue dans ce dernier, qui absorbe la chaleur provenant de la tour de refroidissement par voie sèche. Afin d'évacuer la charge de refroidissement particulièrement élevée, l'installation frigorifique fonctionne également, et évacue une partie de la chaleur de la tour de refroidissement par voie sèche via l'évaporateur.

La chaleur perdue par le circuit de l'agent réfrigérant est libérée dans l'air ambiant via la tour de refroidissement par voie humide.

Chargement de l'accumulateur de glace

À partir de 19h, le bâtiment est vide. Il n'y a plus de besoin de climatisation.
Durant cette période, l'accumulateur de glace est chargé par l'installation frigorifique.

ET 420
Accumulateurs de glace en génie frigorifique



L'illustration montre le banc d'essai à gauche, la tour de refroidissement par voie sèche (à droite) et par boie humide (au milieu).

Description

- **installation frigorifique industrielle avec accumulateur de glace, tour de refroidissement par voie sèche et tour de refroidissement par voie humide**
- **efficacité énergétique en génie frigorifique et climatique**

Les accumulateurs de glace sont utilisés en génie frigorifique, afin de couvrir un besoin de refroidissement supplémentaire (pointe de charge). Le chargement des accumulateurs de glace se produit principalement la nuit, lorsque le besoin en énergie générale et les coûts énergétiques sont les plus bas.

Un circuit, avec le mélange d'eau glycolée entre l'accumulateur de glace et l'installation frigorifique à compression, sert pour le chargement et le déchargement de l'accumulateur de glace. Pour le chargement de l'accumulateur de glace, le mélange d'eau glycolée est refroidi en dessous de 0°C par le circuit frigorifique à compression, et retire de la chaleur à l'eau contenue dans l'accumulateur de glace, de sorte que l'eau gèle. Pour le déchargement, la glace fondante retire de la chaleur du mélange d'eau glycolée, de sorte que le mélange refroidisse. Dans le cas de ce refroidissement, l'accumulateur de glace remplace ou soutient l'installation frigorifique à compression.

L'ET 420 contient un accumulateur de glace, une installation frigorifique, un circuit avec du mélange d'eau glycolée, une tour de refroidissement par voie sèche et par voie humide. De la chaleur est extraite du mélange lors de l'évaporation du réfrigérant du circuit frigorifique à compression, et lors de la décharge de l'accumulateur de glace, pendant que de la chaleur est apportée lors de la condensation du réfrigérant. Les tours de refroidissement apportent de la chaleur au mélange ou, selon les besoins, en retirent.

L'acquisition de toutes les grandeurs nécessaires permet d'établir le bilan des processus individuels. Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

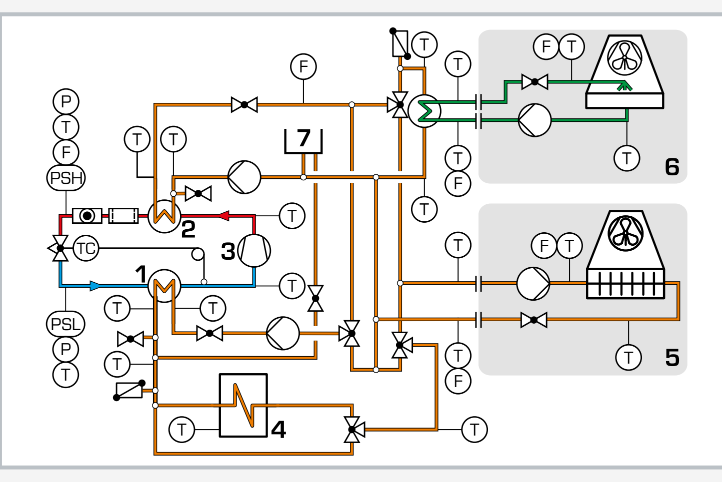
Contenu didactique/essais

- structure et fonction d'une installation frigorifique efficace énergétiquement
- fonction et fonctionnement d'un accumulateur de glace
  - charger
  - décharger
- établissement du bilan des flux énergétiques
- transport d'énergie des différents fluides
- cycle frigorifique à compression sur le diagramme log p,h
- fonction et puissance d'une tour de refroidissement par voie humide
- fonction et puissance d'une tour de refroidissement par voie sèche

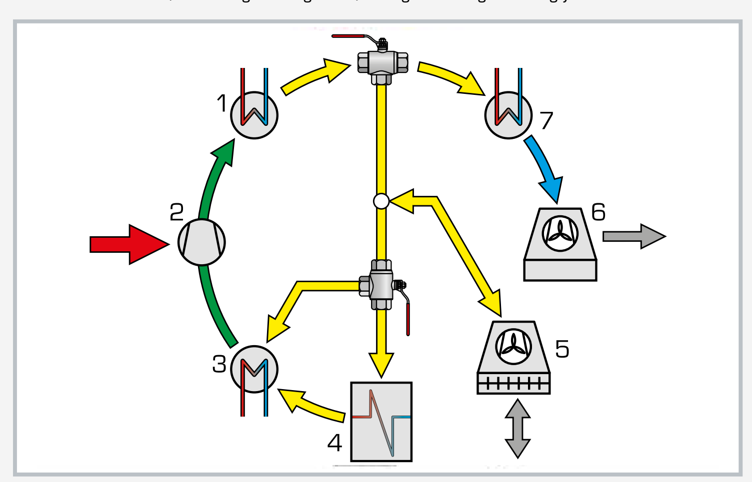
ET 420
Accumulateurs de glace en génie frigorifique



1 éléments d'affichage et de commande, 2 pompe, 3 manomètre, 4 débitmètre, 5 évaporateur, 6 condenseur, 7 compresseur, 8 accumulateur de glace, 9 soupape à 3 voies, 10 réservoir de compensation



1 évaporateur, condenseur, 3 compresseur, 4 accumulateur de glace, 5 tour de refroidissement (voie sèche), 6 tour de refroidissement (voie humide), 7 réservoir de compensation; conduites: vert: eau, bleu-rouge: réfrigérant, orange: mélange d'eau glycolée



Flux énergétiques dans l'installation: 1 condenseur, 2 compresseur, 3 évaporateur, 4 accumulateur de glace, 5 tour de refroidissement (voie sèche), 6 tour de refroidissement (voie humide), 7 échangeur de chaleur à la tour de refroidissement (humide); bleu: eau, jaune: mélange d'eau glycolée, vert: réfrigérant, gris: air, rouge: puissance électrique

Spécification

[1] étude du chargement et du déchargement d'un accumulateur de glace
[2] installation avec accumulateur de glace, installation frigorifique à compression, tours de refroidissement par voies sèche et humide
[3] circuit frigorifique pour R513A avec compresseur, condenseur, évaporateur et soupape de détente
[4] circuits d'eau glycolée avec pompes: refroidissement du condenseur de réfrigérant, chauffage de l'évaporateur de réfrigérant, chargement ou déchargement de l'accumulateur de glace, fonctionnement de la tour de refroidissement par voie sèche
[5] circuit d'eau avec pompe pour le fonctionnement de la tour de refroidissement par voie humide
[6] mesure des températures, des pressions, des débits et de la puissance absorbée pertinents pour établir le bilan des processus
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: env. 1434W à -15/32°C
- puissance absorbée: 1209W à -15/32°C

Pompes (mélange d'eau glycolée)
- débit de refoulement max.: 4,5m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 5,6m

Pompe tour de refroid. par voie humide (eau)
- débit de refoulement max.: 4,5m^3/h
- hauteur de refoulement max.: 18m

Accumulateur de glace: 150L
Réservoir de compensation: 20L
Tours de refroidissement
- voie humide, puissance nominale: 12kW
- voie sèche, puissance nominale: 13,8kW

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 2,5kg
- équivalent CO_2: 1,6t

Plages de mesure
- température: 12x -20...100°C, 4x -50...150°C, 4x 0...60°C
- pression: -1...9bar, -1...24bar
- débit: 3x 100...1200L/h, 2x 60...1500L/h, 1x 150...1600L/h, 1x 10...100L/h (R513A)
- puissance: 0...2250W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: env. 2200x790x1900mm banc d'essai
Lxlxh: env. 1250x790x1700mm (tour, voie humide)
Lxlxh: env. 1600x900x1140mm (tour, voie sèche)
Poids total: env. 650kg

Nécessaire pour le fonctionnement

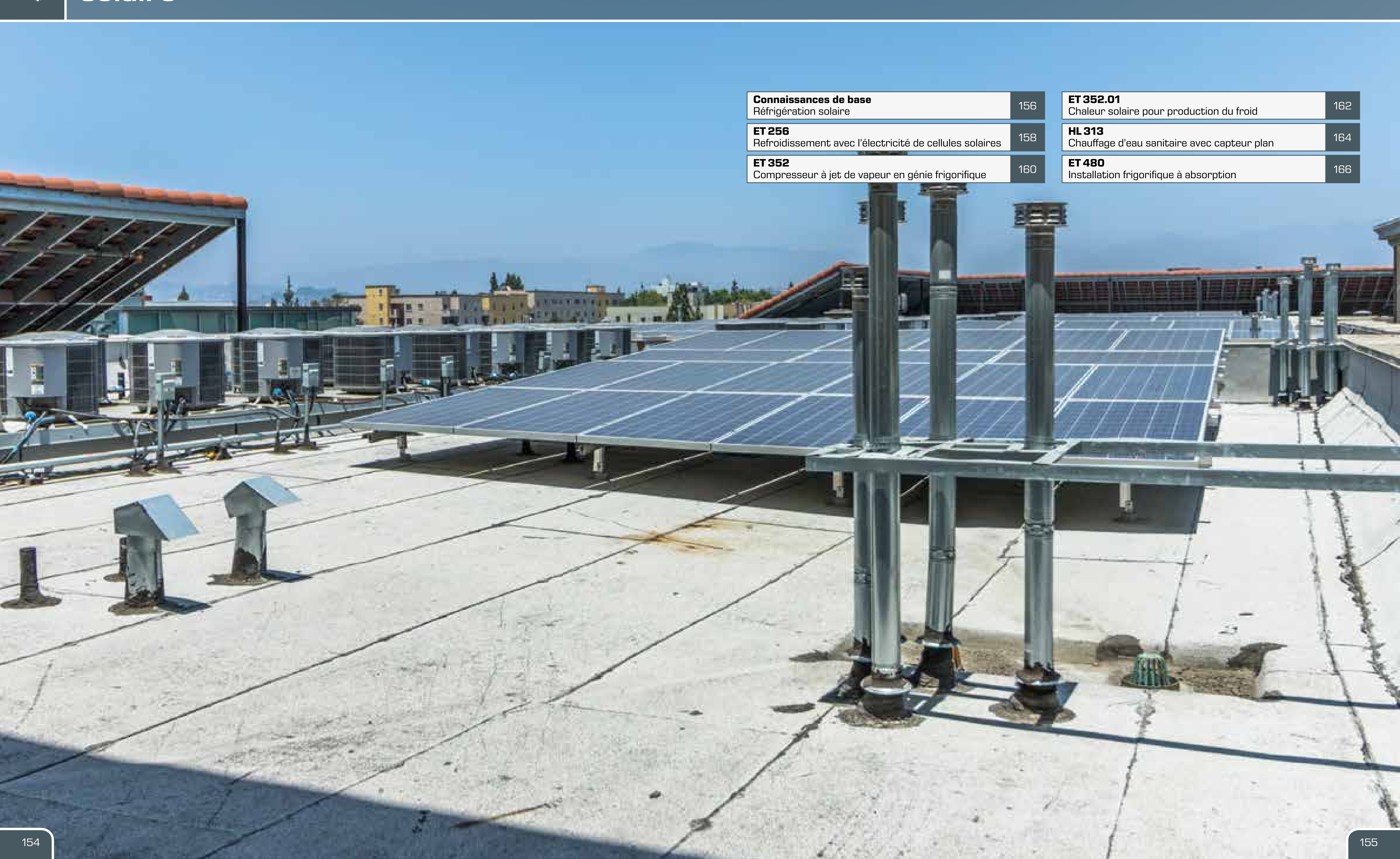
raccord d'eau, drain, ventilation, évacuation d'air, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

banc d'essai, tour de refroidissement (voie humide), tour de refroidissement (voie sèche), jeu de flexibles, CD avec logiciel GUNT + câble USB, documentation didactique

5

Réfrigération solaire



Connaissances de base

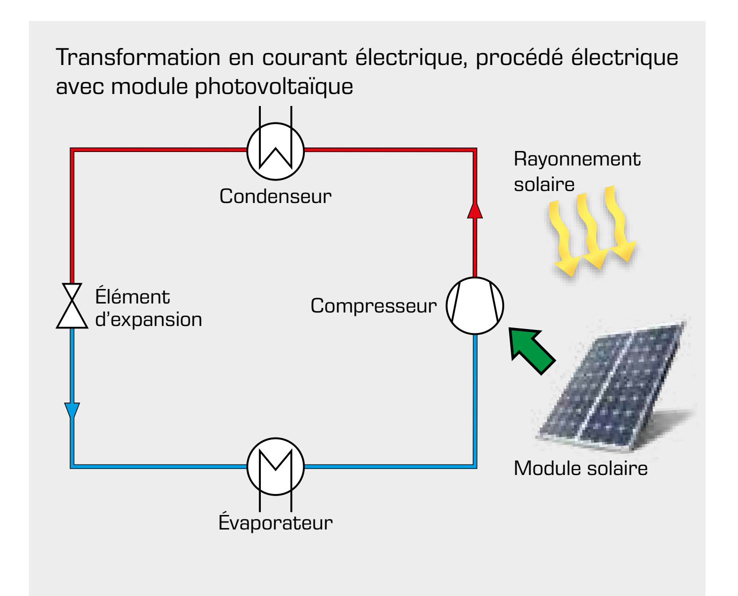
Réfrigération solaire

L'intérêt pour les procédés de production du froid alternatifs pouvant être alimentés par des sources d'énergie renouvelables ne cesse de croître. L'idée de base de la réfrigération solaire est d'utiliser l'énergie solaire pour refroidir les bâtiments ou les appareils, surtout pendant les heures chaudes de la journée. Le marché futur de la "réfrigération solaire" est d'une importance capitale pour la durabilité des bâtiments équipés d'installations de climatisation, tant dans les zones climatiques tempérées que dans les pays chauds.

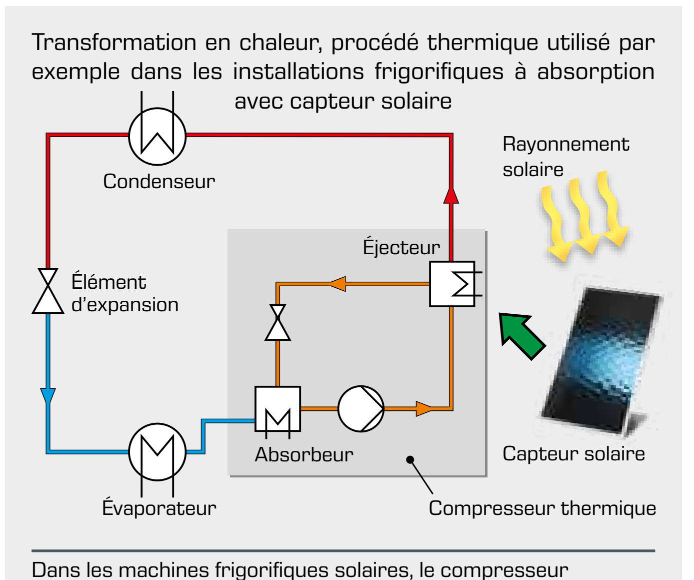
Principe de fonctionnement de la réfrigération solaire

La réfrigération solaire est un processus de refroidissement alimenté **directement** par l'énergie solaire. L'énergie solaire est utilisée ici comme source renouvelable d'alimentation en chaleur. Il existe principalement deux procédés de conversion de l'énergie solaire en énergie utile:

Transformation en courant électrique, procédé électrique avec module photovoltaïque



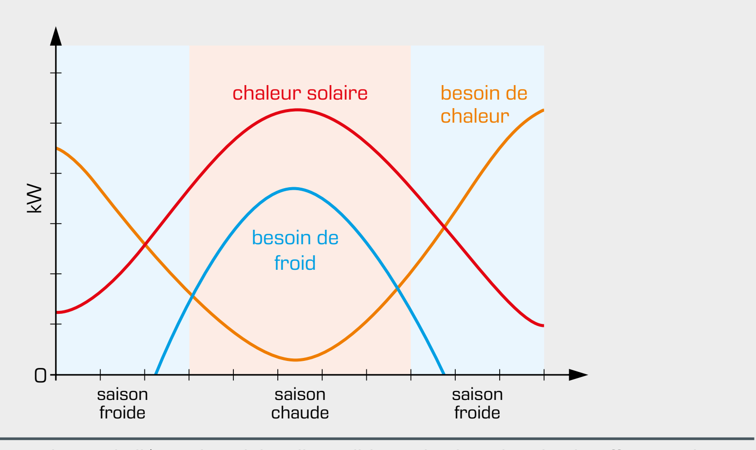
Transformation en chaleur, procédé thermique utilisé par exemple dans les installations frigorifiques à absorption avec capteur solaire



Dans les machines frigorifiques solaires, le compresseur électrique est remplacé par un compresseur thermique.

Énergie solaire disponible

Le rayonnement solaire et les besoins de refroidissement sont corrélés dans le temps. Il faut exploiter cet état de fait. Les avantages de l'alimentation des installations de refroidissement par l'énergie solaire sont donc évidents.

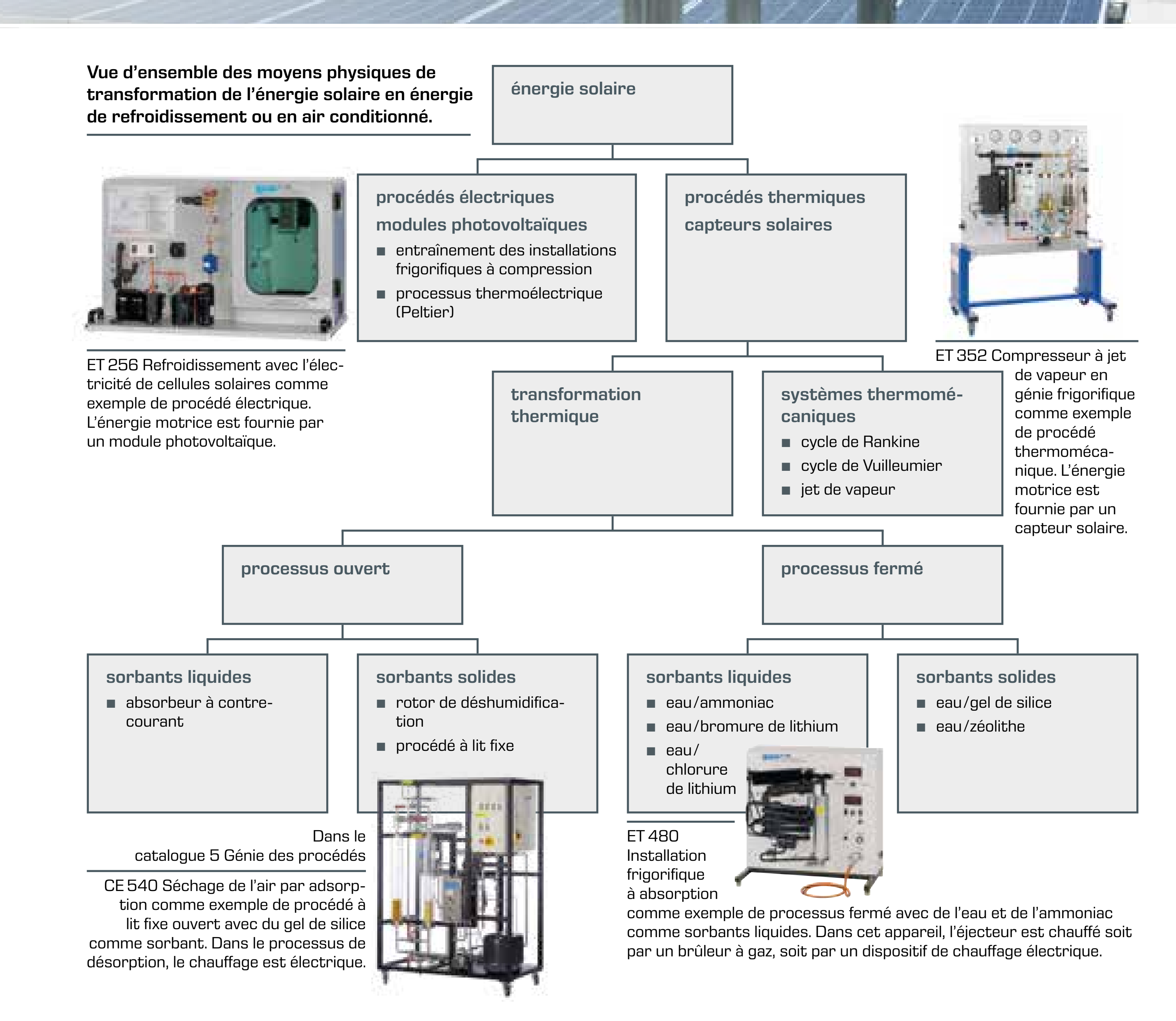


Courbes annuelles typiques de l'énergie solaire disponible et des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment

Avantages de la réfrigération solaire

- au lieu d'une puissance électrique élevée pour une installation de refroidissement conventionnel, la consommation d'énergie électrique peut être limitée aux entraînements des pompes et des ventilateurs.
- particulièrement pendant les chaudes journées d'été, lorsque le besoin de refroidissement est particulièrement élevé, la consommation d'électricité est réduite.

Vue d'ensemble des moyens physiques de transformation de l'énergie solaire en énergie de refroidissement ou en air conditionné.



ET 256 Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires comme exemple de procédé électrique. L'énergie motrice est fournie par un module photovoltaïque.

ET 352 Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique comme exemple de procédé thermomécanique. L'énergie motrice est fournie par un capteur solaire.

Dans le catalogue 5 Génie des procédés

CE 540 Séchage de l'air par adsorption comme exemple de procédé à lit fixe ouvert avec du gel de silice comme sorbant. Dans le processus de désorption, le chauffage est électrique.

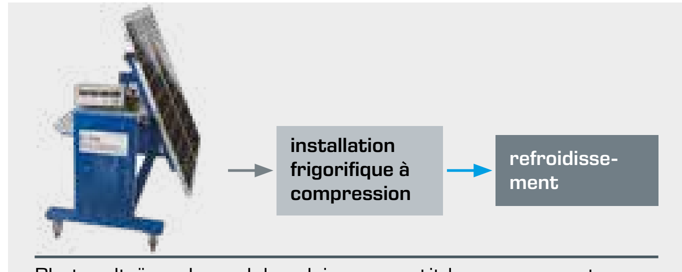
ET 480 Installation frigorifique à absorption comme exemple de processus fermé avec de l'eau et de l'ammoniac comme sorbants liquides. Dans cet appareil, l'éjecteur est chauffé soit par un brûleur à gaz, soit par un dispositif de chauffage électrique.

Approvisionnement des bâtiments comme domaine d'application

Une grande partie des applications possibles de la réfrigération solaire se trouve dans l'approvisionnement des bâtiments. En ce qui concerne l'optimisation énergétique, il est donc judicieux de prendre également en compte d'autres consommateurs d'énergie d'un bâtiment. Le schéma représenté montre deux concepts de système pour l'intégration de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque.

chauffage → eau chaude → cycle frigorifique à entraînement thermique → refroidissement

Énergie solaire thermique: le capteur solaire transforme le rayonnement solaire directement en chaleur



Photovoltaïque: le module solaire convertit le rayonnement solaire directement en énergie électrique

ET 256
Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires





Description

- **installation frigorifique à compression pour le fonctionnement avec des modules photovoltaïques ET 250 ou le bloc d'alimentation de laboratoire ET 256.01**
- **longue durée de refroidissement grâce aux accumulateurs de froid et à l'isolation**
- **logiciel pour la commande et l'établissement du bilan des flux d'énergie**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

Avec l'augmentation au niveau mondial des besoins en froid, on s'intéresse de plus en plus aux procédés de production du froid fonctionnant avec des sources d'énergie renouvelables. Dans ce cadre, l'exploitation de l'électricité solaire présente des avantages indéniables en particulier pour les applications mobiles ou excentrées.

L'ET 256 comprend une installation frigorifique à compression typique avec chambre de refroidissement. Elle présente la particularité de permettre une alimentation électrique directe du compresseur d'agent réfrigérant par des modules photovoltaïques. Il suffit pour cela de raccorder les modules photovoltaïques de l'ET 250 à l'ET 256. Pour certains des essais, on peut également utiliser le bloc d'alimentation de laboratoire ET 256.01 disponible. La source de lumière artificielle HL 313.01 permet d'effectuer des tests sur l'énergie solaire indépendamment de la lumière naturelle.

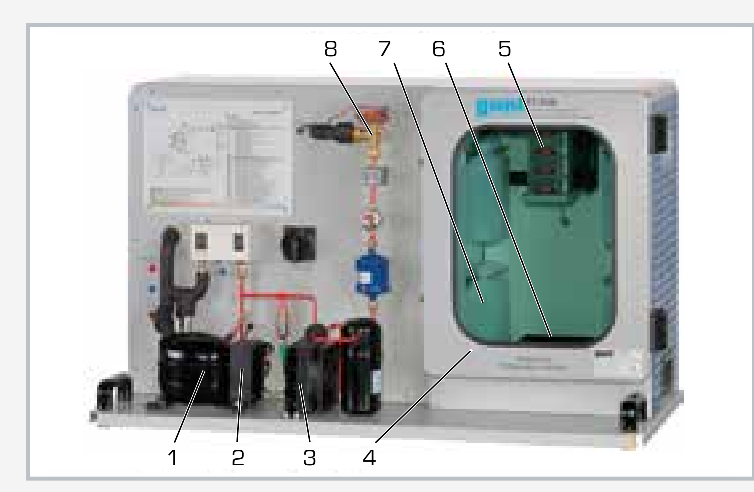
Le compresseur d'agent réfrigérant est un compresseur à piston avec vitesse de rotation ajustable. Une soupape de détente thermostatique est placée dans le circuit frigorifique. La chambre de refroidissement isolée contient un évaporateur d'agent réfrigérant avec ventilateur, des accumulateurs de froid amovibles et un dispositif de chauffage pour la production d'une charge de refroidissement.

Pour répondre à un besoin de refroidissement, l'unité de commande met en marche le compresseur à condition que la puissance électrique des modules solaires soit suffisante. Le fonctionnement du compresseur fait baisser la température de la chambre de refroidissement. En cas de décharge partielle ou totale des accumulateurs de froid, ces dernières sont rechargées dès lors que la température est revenue à un niveau suffisamment bas. Si il n'y a pas d'électricité disponible pour faire fonctionner le compresseur, les accumulateurs de froid augmentent la durée de refroidissement restante dans la chambre froide en se déchargeant.
Les valeurs de mesure pertinentes sont enregistrées par des capteurs, affichées et peuvent être traitées sur un PC. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées.

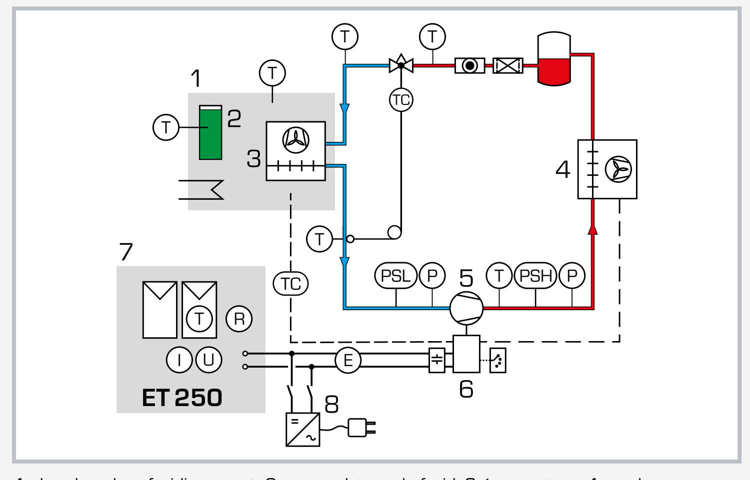
Contenu didactique/essais

- alimentation d'une installation frigorifique à compression avec de l'électricité issue de modules photovoltaïques
- composants d'une installation frigorifique photovoltaïque
- fonctionnement du compresseur en cas de variation de la puissance et des besoins en froid
- charge et décharge des accumulateurs de froid
- coefficient de performance de l'installation frigorifique en fonction des conditions de fonctionnement
- cycle frigorifique dans le diagramme log p,h
- établissement du bilan des flux d'énergie

ET 256
Refroidissement avec l'électricité de cellules solaires



1 compresseur, 2 unité de commande, 3 condenseur, 4 chambre de refroidissement, 5 évaporateur, 6 dispositif de chauffage, 7 accumulateur de froid, 8 soupape de détente



1 chambre de refroidissement, 2 accumulateur de froid, 3 évaporateur, 4 condenseur, 5 compresseur, 6 unité de commande, 7 modules photovoltaïques, 8 bloc d'alimentation de laboratoire (ET 256.01)



ET 256 avec la source de lumière artificielle optionnelle HL 313.01 et les modules solaires ET 250

Spécification

[1] installation frigorifique à compression pour fonctionnement avec de l'électricité provenant de modules photovoltaïques ET 250 ou de l'alimentation de laboratoire ET 256.01
[2] installation frigorifique à compression: compresseur d'agent réfrigérant avec vitesse de rotation ajustable, chambre de refroidissement isolée avec évaporateur, accumulateurs de froid et charge de refroidissement, soupape de détente thermostatique et condenseur
[3] alimentation en courant continu à partir des modules photovoltaïques de l'ET 250
[4] dispositif de chauffage pour la production d'une charge de refroidissement
[5] unité de commande pour le fonctionnement du compresseur en fonction de la température
[6] accumulateurs de froid rechargeables
[7] capteur de mesure de température et de pression
[8] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[9] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] refrigerant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur
- vitesse de rotation: 2000...3500min^{-1}
- puissance frigorifique: env. 90W à 0/55°C et 2000min^{-1}
- puissance électrique absorbée: env. 46W à 0/55°C et 2000min^{-1}

Appareil de commande
- plage de tension d'entrée: 10...45V DC

Chambre de refroidissement: Lxlxh: 400x250x500mm
Accumulateurs de froid: transition entre phases: 5...6°C

Refrigerant
- R513A
- GWP: 631
- filling volume: 1kg
- CO_2-equivalent: 0,6t

Plages de mesure
- température: 4x -30...80°C, 3x 0...120°C
- pression: 2x 0...6bar, 2x 0...30bar
- courant: 0...10A
- tension: 0...60V
- débit: 0...11kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
Lxlxh: 980x400x580mm
Poids: env. 65kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu de câbles
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



Contenu didactique/essais

- comprendre l'installation frigorifique à compression selon le procédé d'éjection de vapeur
- cycle de Clausius-Rankine fonctionnant à droite et à gauche
- bilans énergétiques
- détermination du coefficient de performance du circuit frigorifique
- cycle sur le diagramme log p,h
- comportement en service sous charge
- installation frigorifique à éjection de vapeur héliothermique

Description

- **installation frigorifique avec compression à jet de vapeur**
- **production du froid avec chaleur**
- **condenseur et évaporateur transparents**
- **avec ET 352.01 et HL 313: exploitation de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement pour un compresseur à jet de vapeur**

Contrairement aux installations frigorifiques à compression courantes, les machines frigorifiques à éjection de vapeur ne possèdent pas de compresseur mécanique, mais un compresseur à jet de vapeur. Pour cette raison, il est possible d'utiliser différentes sources de chaleur pour la production du froid. De telles sources peuvent être, par exemple, l'énergie solaire ou la chaleur perdue provenant des processus.

L'installation comprend deux circuits d'agent réfrigérant: un circuit sert à la production du froid (cycle frigorifique), l'autre circuit sert à la production de vapeur d'entraînement (cycle de vapeur).

Le compresseur à jet de vapeur comprime la vapeur de l'agent réfrigérant et la transporte dans le condenseur. Un réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau fait office de condenseur.

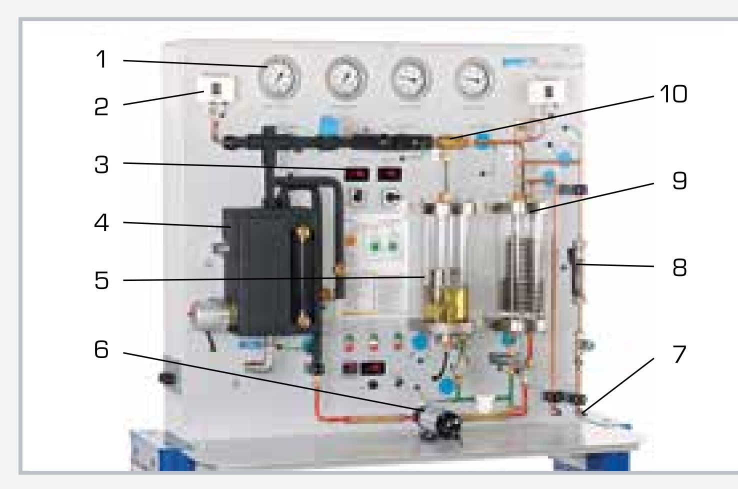
Dans le cycle frigorifique, une partie de l'agent réfrigérant condensé circule dans l'évaporateur transparent, qui est raccordé au côté aspiration du compresseur à jet de vapeur. L'évaporateur est un évaporateur immergé, dans lequel une vanne à flotteur maintient le niveau de remplissage constant. L'agent réfrigérant absorbe la chaleur ambiante ou la chaleur du dispositif de chauffage et l'évapore. La vapeur de l'agent réfrigérant est aspirée par le compresseur à jet de vapeur puis à nouveau compressée.

Une pompe transporte l'autre partie du condensat dans le générateur de vapeur au cours du cycle de vapeur. Un réservoir électrique doté d'une chemise d'eau évapore l'agent réfrigérant. L'agent réfrigérant produit entraîne le compresseur à jet de vapeur. Comme alternative au chauffage électrique, la chaleur solaire comme énergie d'entraînement peut être utilisée avec le ET 352.01 et le capteur héliothermique HL 313.

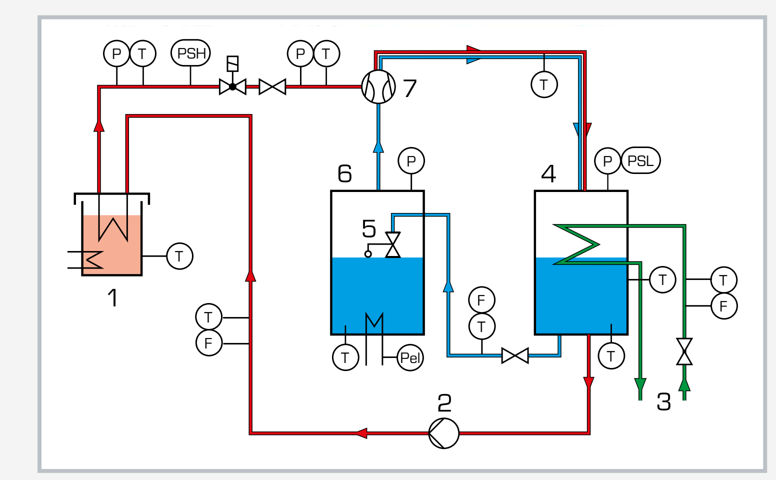
Les valeurs de mesure pertinentes sont enregistrées par des capteurs, affichées et peuvent être traitées sur un PC. La puissance du dispositif de chauffage est ajustable au niveau de l'évaporateur. Le débit d'eau de refroidissement au niveau du condenseur est ajusté par une soupape.

ET 352

Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique



1 manomètre, 2 pressostat, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 générateur de vapeur, 5 évaporateur, 6 pompe, 7 raccords d'eau de refroidissement, 8 débitmètre, 9 condenseur, 10 compresseur à jet de vapeur



1 générateur de vapeur, 2 pompe, 3 raccords d'eau de refroidissement, 4 condenseur, 5 vanne à flotteur, 6 évaporateur, 7 compresseur à jet de vapeur; T température, P pression, PSL, PSH pressostat, F débit, P_{el} puissance; rouge: cycle de vapeur, bleu: cycle frigorifique, vert: eau de refroidissement

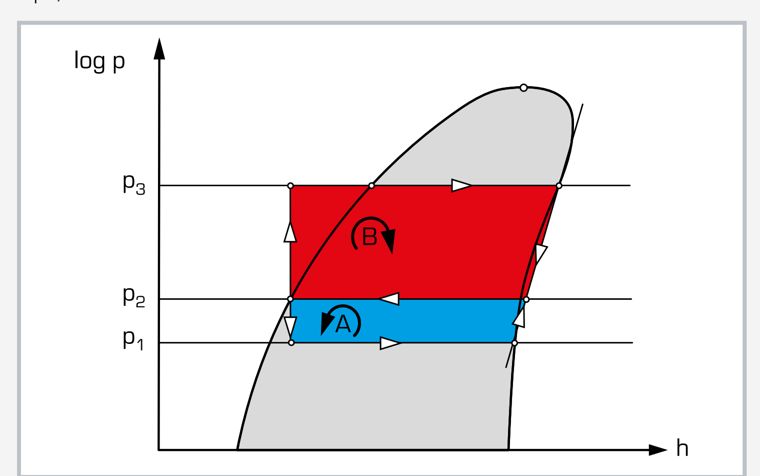


Diagramme log p,h: A cycle frigorifique, B cycle de vapeur, p_1 pression dans l'évaporateur, p_2 pression dans le condenseur, p_3 pression dans le générateur de vapeur

Spécification

[1] étude d'un compresseur à jet de vapeur
[2] circuit frigorifique avec condenseur, évaporateur et compresseur à jet de vapeur pour agent réfrigérant
[3] circuit de vapeur avec pompe et générateur de vapeur pour le fonctionnement du compresseur à jet de vapeur
[4] réservoir transparent doté d'un serpentin refroidi par eau comme condenseur
[5] réservoir transparent avec dispositif de chauffage ajustable comme évaporateur
[6] évaporateur immergé avec vanne à flotteur comme élément d'expansion
[7] générateur de vapeur doté d'une chemise d'eau chauffée (électriquement ou héliothermiquement par ET 352.01, HL 313)
[8] agent réfrigérant R1233zd, GWP: 1
[9] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Compresseur à jet de vapeur
- d_{min} tuyère convergente-divergente Laval: env. 1,7mm
- d_{min} tuyère de mélange: env. 7mm

Condenseur
- réservoir: env. 3,5L
- surface de serpentin: env. 0,17m^2

Évaporateur
- réservoir: env. 3,5L
- puissance du dispositif de chauffage: 4x 125W

Générateur de vapeur
- réservoir agent réfrigérant: env. 0,75L
- chemise d'eau: env. 9L
- puissance du dispositif de chauffage: 2kW

Pompe
- débit de refoulement max.: env. 1,7L/min
- hauteur de refoulement max.: env. 70mWS

Agent réfrigérant
- R1233zd
- GWP: 1
- volume de remplissage: 5kg
- équivalent CO_2: 0t

Plages de mesure
- température: 12x -20...100°C
- pression: 2x 0...10bar; 2x -1...9bar
- débit: 3x 0...1,5L/min
- puissance: 1x 0...750W, 1x 0...3kW

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase, 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1460x790x1890mm
Poids: env. 225kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai + 1 jeu d'accessoires
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 352.01
Chaleur solaire pour production du froid



Contenu didactique/essais

- exploitation de la chaleur solaire pour la production du froid
- composants des installations frigorifiques solaires selon le procédé d'éjection de vapeur
- fonctionnement d'un compresseur à jet de vapeur: exemple du capteur solaire plan
- optimisation du point de fonctionnement
- bilans énergétiques
- concepts étendus pour l'exploitation des installations solaires thermiques
- gestion de l'énergie pour les systèmes de production du froid par l'énergie solaire

Description

- **en association avec l'ET 352 et le HL 313: exploitation de la chaleur solaire comme énergie d'entraînement pour un compresseur à jet de vapeur**
- **établissement du bilan des flux d'énergie**

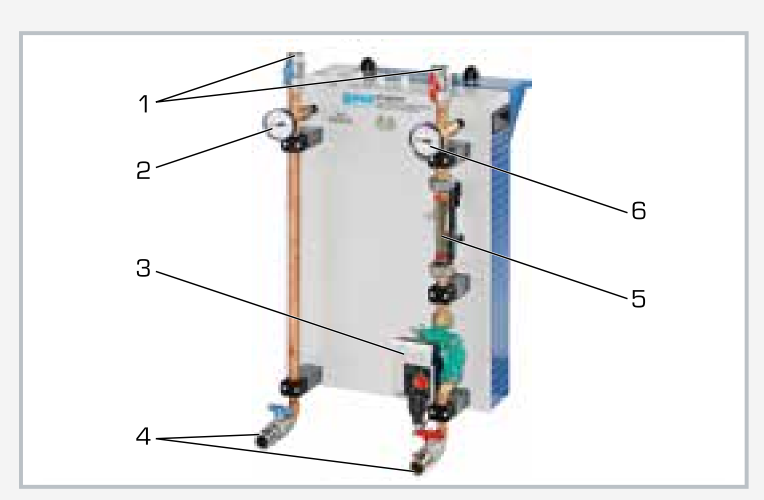
Avec l'augmentation au niveau mondial des besoins en froid et en climatisation, on s'intéresse de plus en plus aux procédés de production du froid fonctionnant avec des sources d'énergie renouvelables. Les procédés thermiques sont très prometteurs dans ce domaine. Ce procédé consiste à se servir de l'énergie thermique pour produire du froid.

L'ET 352.01 permet de faire fonctionner le compresseur à jet de vapeur de l'ET 352 avec de la chaleur d'origine solaire issue du capteur plan HL 313.

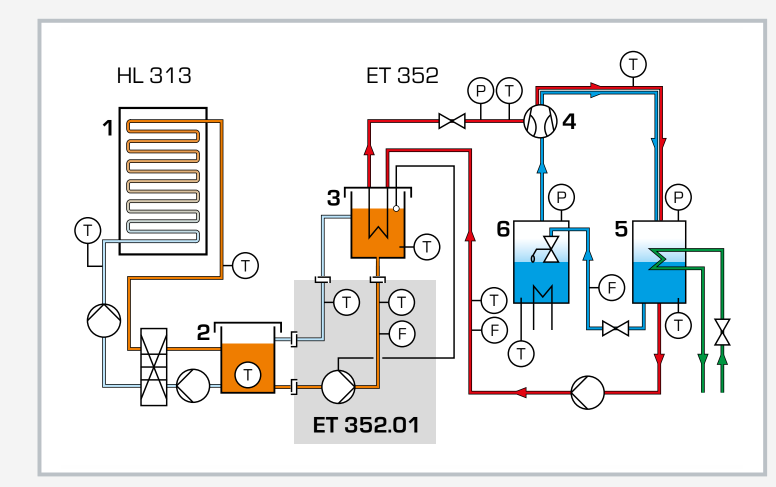
Une fois qu'il a été suffisamment réchauffé par héliothermie, le liquide caloporteur du HL 313 est transporté par la pompe de l'ET 352.01 jusqu'au générateur de vapeur de l'ET 352. La pompe est commandée par l'ET 352. La connexion à l'ET 352 et au HL 313 est assurée par des tuyaux.

L'énergie apportée par la chaleur solaire est mesurée par deux capteurs de température et un capteur de débit. Les valeurs de mesure sont transmises à l'ET 352 peuvent être traitées sur un PC. Elles sont aussi affichées directement sur l'ET 352.01.

ET 352.01
Chaleur solaire pour production du froid



1 circuit entrant/sortant de l'ET 352, 2 thermomètre du circuit sortant, 3 pompe de circulation, 4 circuit entrant/sortant du HL 313, 5 capteur de débit, 6 thermomètre du circuit entrant



1 capteur solaire, 2 accumulateur de chaleur, 3 générateur de vapeur, 4 compresseur à jet de vapeur, 5 condenseur, 6 évaporateur; F débit, P pression, T température; rouge: cycle de vapeur, bleu: cycle frigorifique, vert: eau de refroidissement; orange: liquide caloporteur chaud, bleu clair: liquide caloporteur froid



Montage expérimental fonctionnel: HL 313 Échauffement d'eau sanitaire avec capteur plan (à gauche), ET 352.01 Chaleur solaire pour production du froid (au centre), ET 352 Compresseur à jet de vapeur en génie frigorifique (à droite)

Spécification

[1] alimentation du compresseur à jet de vapeur de l'ET 352 avec de la chaleur solaire issue du capteur plan HL 313
[2] pompe pour le transport du liquide caloporteur du HL 313 jusqu'au générateur de vapeur de l'ET 352
[3] circuit entrant vers le générateur de vapeur avec mesure de température et de débit
[4] circuit sortant avec mesure de température
[5] transfert des valeurs de mesure à l'ET 352 pour le traitement dans le logiciel
[6] commande de la pompe par l'ET 352
[7] connexion de l'ET 352, du HL 313 et de l'ET 352.01 par des tuyaux avec accouplements rapides

Caractéristiques techniques

Pompe
- puissance absorbée: 40W
- débit de refoulement max.: 1m^3/h
- hauteur de refoulement: 4,8m

Plages de mesure
- température: 2x 0...120°C
- débit: 10...300L/h

Lxlxh: 430x430x790mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu de flexibles
1 documentation didactique



HL 313
Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan



Contenu didactique/essais

- familiarisation avec le fonctionnement du capteur plan et du circuit solaire
- détermination de la puissance utile
- rapport entre le débit et la puissance utile
- détermination du rendement du capteur
- rapport entre la différence de température (capteur / environnement) et le rendement du capteur

Description

- **transformation de l'énergie solaire en chaleur**
- **banc d'essai avec des éléments empruntés à la pratique**
- **capteur plan pivotant**
- **système avec échangeur thermique et deux circuits séparés**
- **régulateur solaire avec enregistreur de données et interface USB**

Le banc d'essai HL 313 permet de montrer les principaux aspects du chauffage de l'eau sanitaire par héliothermie. Il est constitué d'éléments empruntés à la pratique.

Le rayonnement énergétique est transformé en chaleur dans un capteur plan conventionnel, qui sera appliquée à un liquide caloporteur contenu dans le circuit solaire. La chaleur est acheminée dans le circuit d'eau chaude via un échangeur thermique.

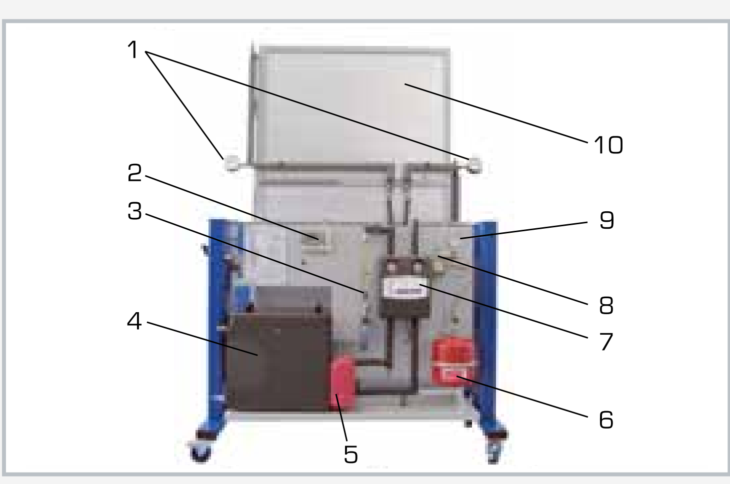
Un régulateur solaire commande les pompes du circuit d'eau chaude et du circuit solaire. Le circuit solaire est protégé par un vase d'expansion et une soupape de sûreté.

Les dimensions du banc d'essai sont telles qu'il est possible de procéder à une opération complète de chauffage dans le cadre d'un essai pratique.

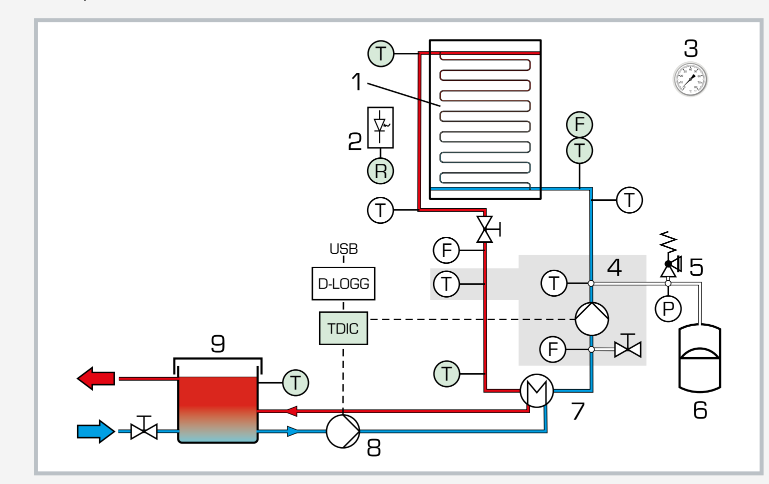
On mesure les températures dans le réservoir, à la sortie et à l'entrée du capteur, ainsi que le débit du circuit solaire. Comme dans la pratique, les températures du circuit d'entrée et de sortie sont affichées sur le panneau de contrôle du circuit solaire.

Pour obtenir un éclairement suffisant, l'installation devrait être exploitée avec le rayonnement du soleil ou la source lumineuse artificielle HL 313.01, disponible en option.

HL 313
Chauffage d'eau sanitaire avec capteur plan



1 thermomètre sur circuit d'entrée/sortie, 2 régulateur solaire, 3 débitmètre, 4 réservoir d'accumulation, 5 échangeur thermique, 6 vase d'expansion, 7 pompe du circuit solaire, 8 soupape de sûreté, 9 thermomètre, affichage de la température de l'air environnant, 10 capteur solaire



TDIC régulateur solaire
1 capteur solaire, 2 détecteur d'éclairement, 3 thermomètre, affichage de la température de l'air environnant, 4 panneau de contrôle du circuit solaire avec pompe du circuit solaire, 5 soupape de sûreté, 6 vase d'expansion, 7 échangeur thermique, 8 pompe du circuit d'eau chaude, 9 réservoir d'accumulation;
F débit, T température, P pression, R éclairement

Spécification

[1] banc d'essai destiné à étudier le fonctionnement et le comportement en service d'un capteur plan
[2] capteur plan héliothermique avec revêtement à absorption sélective
[3] angle d'inclinaison du capteur est réglable
[4] panneau de contrôle du circuit solaire avec capteur, pompe, vase d'expansion et soupape de sûreté
[5] circuit d'eau chaude avec réservoir d'accumulation, pompe et échangeur thermique à plaques
[6] 4 thermomètres bimétalliques
[7] régulateur solaire avec capteurs de température, d'éclairement et de débit
[8] enregistreur de données avec interface USB
[9] exploitation avec rayonnement du soleil ou une source de lumière artificielle HL 313.01

Caractéristiques techniques

Circuit solaire
- capteur
  - surface d'absorption: 2,3m²
  - débit nominal: 20...70L/h
  - pression de service: 1...3bar
- soupape de sûreté: 4bar

Circuit d'eau chaude
- échangeur thermique à plaques: 3kW, 10 plaques
- réservoir d'accumulation: 70L

Plages de mesure
- débit: 20...150L/h
- température: 4x 0...120°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1660x800x2300mm
Poids: env. 240kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 documentation didactique

ET 480
Installation frigorifique à absorption



Description

- **modèle d'installation frigorifique à absorption**
- **fonctionnement du bouilleur au choix avec du gaz ou électriquement**
- **chauffage ajustable de l'évaporateur comme charge de refroidissement**

Les installations frigorifiques utilisent le fait que les agents réfrigérants s'évaporent à basse pression. Dans les installations frigorifiques à absorption, l'absorption de l'ammoniac dans l'eau produit cette basse pression. Le processus d'absorption est initié par de l'énergie thermique, qui peut provenir de la chaleur perdue industrielle ou de capteurs solaires pour le fonctionnement de ces installations.

Le principe de base d'une installation frigorifique à absorption est montré par exemple sur l'appareil d'essai ET 480, en prenant l'exemple d'une solution ammoniac-eau, dans laquelle l'ammoniac fait office d'agent réfrigérant. L'ammoniac liquide s'évapore dans l'évaporateur et retire de la chaleur de l'environnement. La vapeur d'ammoniac est absorbée par l'eau dans l'absorbeur pour maintenir une pression d'évaporation basse. L'étape suivante consiste à retirer en permanence de l'ammoniac de la solution riche en ammoniac afin que le processus d'absorption ne s'arrête pas. La solution riche en ammoniac est alors chauffée dans un éjecteur jusqu'à ce que l'ammoniac s'évapore à nouveau. En dernier lieu, la vapeur d'ammoniac est refroidie dans le condenseur jusqu'à son niveau de sortie, condensée et dirigée vers l'évaporateur. La solution pauvre en ammoniac coule à nouveau vers l'absorbeur. Afin de maintenir la différence de pression dans l'installation, de l'hydrogène est utilisé comme gaz auxiliare.

Dans les installations techniques de procédé, la chaleur perdue produite peut être récupérée et utilisée pour la production du froid. Dans le cas de petites installations comme des réfrigérateurs de camping ou des minibars à l'hôtel, la chaleur nécessaire est produite électriquement ou au moyen de brûleurs à gaz. Un avantage supplémentaire des installations frigorifiques à absorption réside dans leur fonctionnement silencieux.

L'ET 480 montre le mode opératoire d'une installation frigorifique à absorption avec les composants principaux: évaporateur, absorbeur, bouilleur comme éjecteur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur. Le bouilleur peut être chauffé au choix avec du gaz ou électriquement. Un chauffage électrique supplémentaire au niveau de l'évaporateur produit une charge de refroidissement. Les températures dans le circuit frigorifique, ainsi que les puissances de chauffe du bouilleur et de l'évaporateur, sont prises en compte et affichées numériquement.

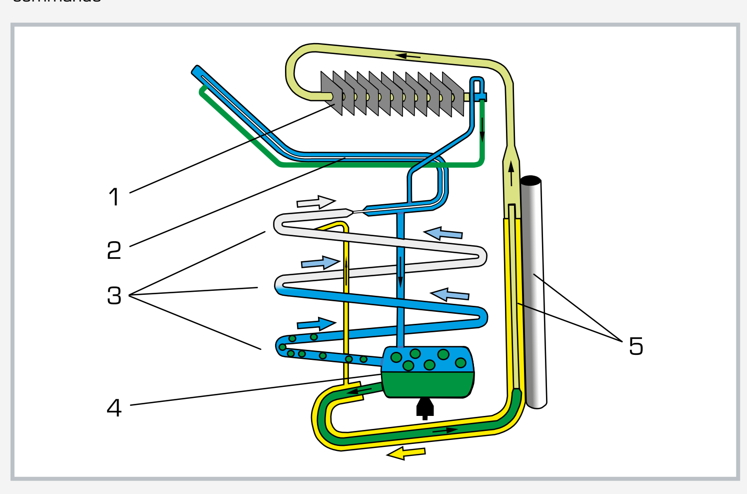
Contenu didactique/essais

- démonstration du principe de base d'une installation frigorifique à absorption
- installation frigorifique à absorption et ses composants principaux
- comportement en service sous charge

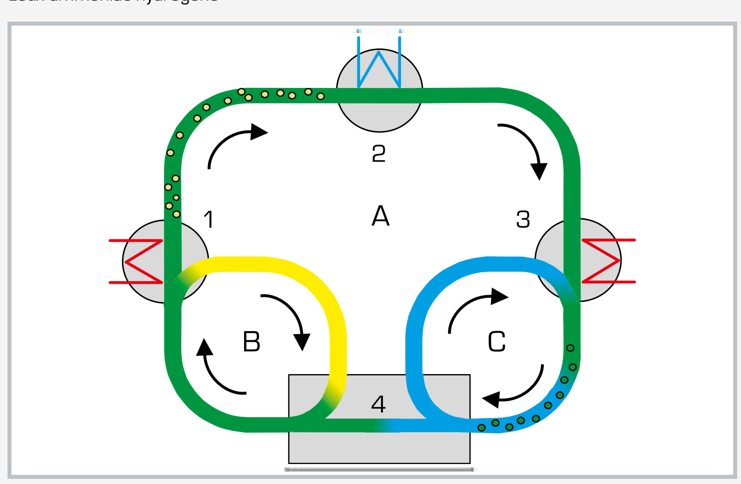
ET 480
Installation frigorifique à absorption



1 condenseur, 2 évaporateur avec chauffage, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 brûleur à gaz, 6 soupape de réduction de pression pour le fonctionnement avec propane, 7 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur pour l'éjection de l'ammoniac, 8 éléments d'affichage et de commande



1 condenseur, 2 évaporateur, 3 absorbeur, 4 réservoir, 5 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur;
vert: solution riche en ammoniac, jaune: solution pauvre en ammoniac, bleu: mélange gazeux ammoniac-hydrogène



1 bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, 2 condenseur, 3 évaporateur, 4 absorbeur;
A: circuit d'ammoniac, B: circuit d'eau, C: circuit d'hydrogène

Spécification

[1] fonction d'une installation frigorifique à absorption
[2] composants principaux de l'installation: évaporateur, absorbeur, bouilleur avec pompe pour bulles de vapeur, condenseur
[3] solution ammoniac-eau comme fluide de travail, hydrogène comme gaz auxiliaire
[4] bouilleur pour l'éjection de l'ammoniac
[5] pompe pour bulles de vapeur pour le déplacement dans le circuit
[6] chauffage électrique ajustable de l'évaporateur faisant office de charge de refroidissement
[7] bouilleur pouvant être chauffé au choix avec un dispositif de chauffage électrique ou avec un brûleur à gaz
[8] allumeur piézoélectrique pour le fonctionnement au gaz
[9] affichages numériques de température et de puissance

Caractéristiques techniques

Fluide de travail: solution ammoniac-eau
Gaz auxiliaire: hydrogène
Dispositif de chauffage électrique: 125W
Brûleur à gaz, ajustable: propane
Évaporateur chauffage, ajustable: 50W

Plages de mesure
- température: 4x -80...180°C
- puissance: 0...150W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 750x450x750mm
Poids: env. 47kg

Nécessaire pour le fonctionnement

gaz propane: 30...50mbar

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 flexible
1 réducteur de pression
1 documentation didactique

6 Génie climatique

Connaissances de base

Bases de climatisation

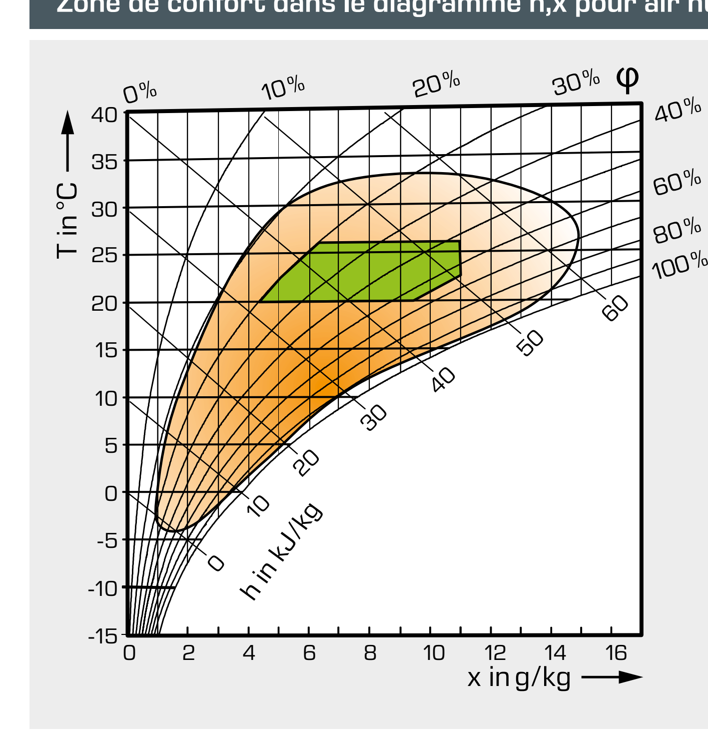
L'objectif de la climatisation consiste à créer un climat ambiant agréable pour les êtres humains. Les conditions de confort sont standardisées selon les normes DIN 1946 et DIN EN 3779. Alors que la température doit se situer entre 20 et 26°C, l'humidité relative de l'air doit se situer entre 30 et 65%.

Climatiser signifie donc qu'il convient d'influencer l'état de l'air ambiant, de sorte qu'un être humain se sente bien et que sa performance ne soit pas perturbée.

L'état de l'air est caractérisé par la température, la pression et la teneur en humidité.

En général, la pression de l'air n'est pas modifiée. Exception: la climatisation de la cabine dans un avion.

Zone de confort dans le diagramme h,x pour air humide de Mollier



Dans le diagramme h,x, la température **T**, l'enthalpie **h** et l'humidité relative **φ** sont indiquées au-dessus de l'humidité absolue **x**.

Dans le diagramme donné à titre d'exemple, la zone de confort selon la norme DIN 1946 est dessinée en vert.

La surface en orange représente le domaine des températures et des humidités extérieures, telles qu'elles surviennent en Europe centrale. On reconnaît que, souvent, les températures et les humidités extérieures ne sont pas conformes aux conditions de confort, et qu'il faut procéder à la climatisation de l'air ambiant.

En Europe centrale, cela consiste fréquemment à procéder à un chauffage et à une humidification, alors que sous les Tropiques, il faut procéder à un refroidissement et à une déshumidification.

Pour une climatisation complète, on obtient quatre fonctions partielles:

- chauffer
- refroidir
- humidifier
- déshumidifier

Humidité de l'air

De l'air humide contient de l'eau dans un état de vapeur. On fait une distinction entre une humidité absolue et une humidité relative. L'humidité absolue est mesurée en g H_2O/kg d'air sec.

Le fait le plus important dans le cadre de la climatisation, c'est l'humidité relative. Elle est perçue par l'homme. L'humidité relative est mesurée en % de l'humidité maximale qu'il est possible d'obtenir à une certaine température. 100% d'humidité relative signifie que l'air ne peut plus absorber d'air supplémentaire; il est saturé. L'humidité excédentaire reste dès lors dans l'air, sous forme de liquide (brouillard). La courbe de saturation, c'est la courbe limite inférieure dans le diagramme h,x.

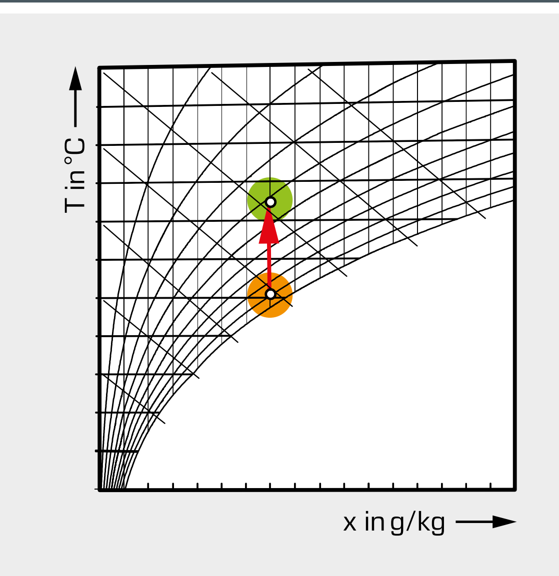
Les processus élémentaires de la climatisation

Les processus de base de la climatisation peuvent être particulièrement bien présentés dans un diagramme h,x.

Un changement de température, l'humidité absolue étant constante, entraîne toujours également un changement de l'humidité relative et de l'enthalpie. De la même manière, l'humidité relative et l'enthalpie changent si l'humidité absolue change et que la température est constante.

Ainsi, il n'est pas possible d'ajuster la température et l'humidité relative indépendamment l'une de l'autre. Par exemple, une augmentation de la température de l'air (chauffage) signifie toujours aussi une diminution de l'humidité relative. Pour obtenir une humidité relative constante, il faut toujours également procéder à une humidification lors du chauffage. À l'inverse, l'humidité relative augmente lors du refroidissement.

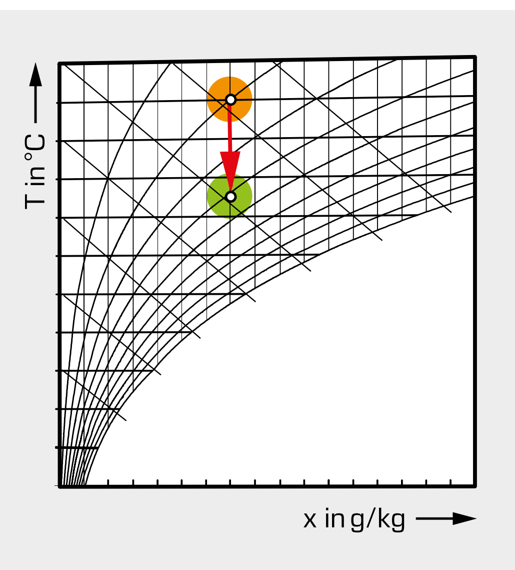
Quatre processus élémentaires de la climatisation dans le diagramme h,x





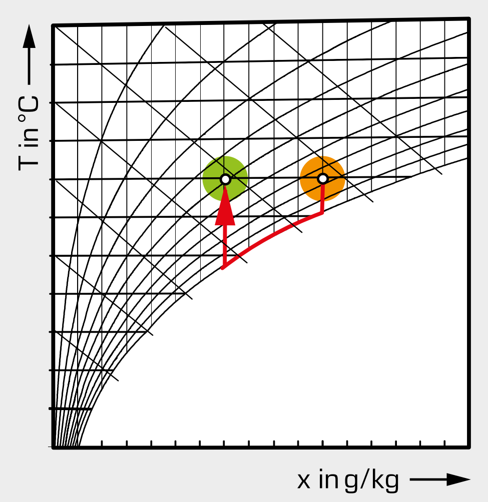
Chauffer

Arrivée de chaleur, l'humidité relative diminue



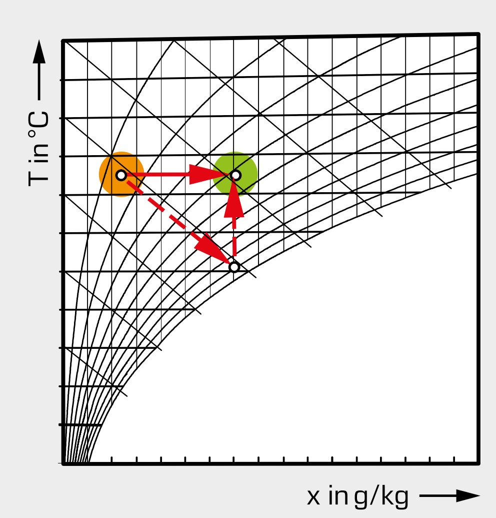
Refroidir

Retrait de chaleur, l'humidité relative augmente



Déshumidifier

Refroidissement à 100% d'humidité relative (saturation), condensation de l'humidité sur des surfaces froides. Ensuite, de nouveau, chauffage à la température souhaitée.



Humidifier

Arrivée de vapeur d'eau ou de brouillard d'eau (en cas de brouillard, un chauffage supplémentaire est nécessaire afin de compenser le refroidissement dû à une enthalpie de vapeur 1-1'-2)

WL 201
Principes de base de la mesure d'humidité de l'air



Description

- **différentes méthodes de mesure de l'humidité**
- **chambre climatique avec humidité ajustable et porte transparente**

La mesure de l'humidité de l'air joue un grand rôle dans de nombreuses branches de l'industrie, comme par exemple pour le séchage ou pour la climatisation des bâtiments ou des véhicules. Il existe différentes méthodes de mesure pour déterminer l'humidité.

Le banc d'essai WL 201 permet la mesure de l'humidité de l'air avec quatre instruments différents, qui peuvent être comparés directement: deux hygromètres différents, un capteur d'humidité capacitif et un psychromètre.

Les psychromètres travaillent selon le principe du refroidissement par évaporation et comparent la température ambiante à la température de bulbe humide. Les hygromètres utilisent la caractéristique de certaines fibres, comme par exemple les cheveux, qui se dilatent si l'humidité de l'air augmente. Dans le cas du capteur capacitif, la constante diélectrique d'une couche se modifie et sa capacité est ainsi également modifiée, en raison des molécules d'eau absorbées.

L'élément principal du banc d'essai est la chambre de climatisation avec porte transparente. Cette chambre peut être humidifiée et déshumidifiée, et comporte les quatre instruments. Un élément Peltier est utilisé pour la déshumidification. Un pulvérisateur à ultrasons sert à l'humidification. Un ventilateur sert à la circulation de l'air et à un bon brassage.

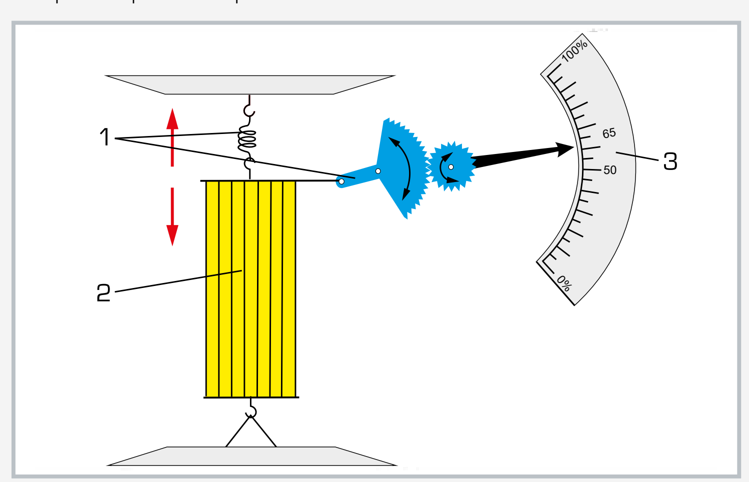
Contenu didactique/essais

- méthodes de mesure de l'humidité de l'air
  - mesure psychrométrique d'humidité
  - mesure hygrométrique d'humidité
  - mesure capacitive d'humidité
- grandeurs caractéristiques de description de l'humidité de l'air
- changements d'état de l'air humide sur le diagramme h,x
- détermination de l'humidité relative avec
  - psychromètre
  - hygromètre à cheveu
  - hygromètre à fibres synthétiques
  - capteur d'humidité capacitif
- structure et fonctionnement des instruments
- comparaison des instruments

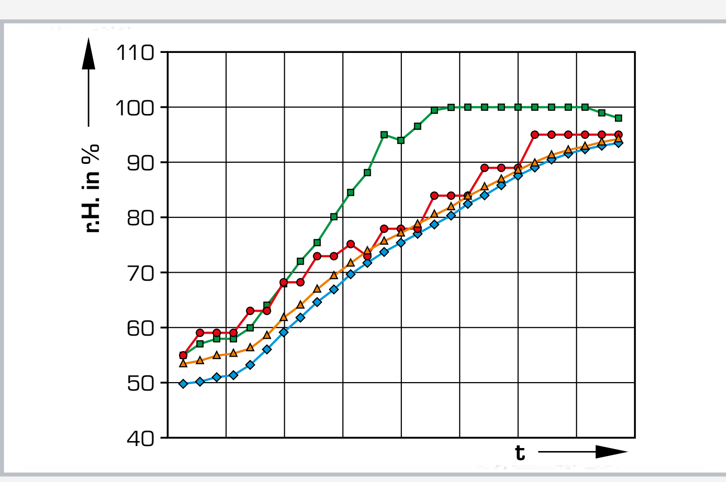
WL 201
Principes de base de la mesure d'humidité de l'air



1 capteur d'humidité capacitif, 2 éléments d'affichage et de commande, 3 humidificateur, 4 psychromètre, 5 hygromètre à cheveu, 6 déshumidificateur, 7 hygromètre à fibres synthétiques et capteur de température combiné



Principe de l'hygromètre à cheveu: 1 mécanique pour la mesure de la modification de longueur de la mèche de cheveux en fonction de l'humidité, 2 mèche de cheveux, 3 échelle d'humidité



Humidité relative (r. H.) en fonction du temps (t) dans le cas d'une humidité croissante; bleu: capteur capacitif, orange: hygromètre à fibres synthétiques, rouge: psychromètre, vert: hygromètre à cheveu

Spécification

[1] différentes méthodes de mesure de l'humidité
[2] chambre climatique avec humidité ajustable et porte transparente
[3] humidification par un pulvérisateur à ultrasons
[4] déshumidification par élément Peltier
[5] ventilateur de circulation d'air
[6] 2 instruments mécaniques: psychromètre, hygromètre à cheveu
[7] 2 instruments électroniques: capteur capacitif, hygromètre à fibres synthétiques et capteur de température combiné

Caractéristiques techniques

Humidificateur
- pulvérisateur à ultrasons
- puissance absorbée: 21,6W
- interrupteur en cas de manque d'eau

Déshumidificateur
- élément Peltier
  - puissance frigorifique: 56,6W (température ambiante 50°C)
  - surface de refroidissement: 1600mm²

Hygromètre à cheveu avec appareil de mesure à aiguille
- plages de mesure: 0...100% d'hum. rel.

Hygromètre à fibres synthétiques
- tension de sortie: 0...10V
- plages de mesure: 0...100% d'hum. rel. / -30...80°C

Capteur capacitif avec affichage numérique
- tension de sortie: 0...10V
- plages de mesure: 1...100% d'hum. rel.

Psychromètre avec thermomètre
- plages de mesure: -10...60°C, séparation: 0,5°C

230V, 50Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1400x800x1630mm
Poids: env. 110kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 psychromètre
2 hygromètres
1 documentation didactique

WL 320
Tour de refroidissement par voie humide

Grâce à des colonnes de refroidissement échangeables, on effectue avec la tour de refroidissement par voie humide WL 320 aussi bien des essais fondamentaux, que des mesures comparatives sur différents types de colonnes de refroidissement. Ainsi, il est possible de comprendre les principales caractéristiques de la tour de refroidissement par voie humide dans le cadre d'une expérience.

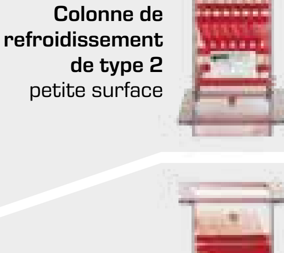
Colonne de refroidissement de type 1 surface moyenne (contenue dans la livraison de WL 320)

WL 320 Tour de refroidissement par voie humide

Des colonnes de refroidissement supplementaires pour effectuer des mesures comparatives



WL 320.01 Colonne de refroidissement de type 2 petite surface



WL 320.02 Colonne de refroidissement de type 3 grande surface



WL 320.03 Colonne de refroidissement de type 4 vide pour des surfaces de ruissellement selon les propres idées

WL 320.04 Colonne de refroidissement de type 5 des surfaces de ruissellement variables

Colonnes de refroidissement échangeables

On dispose de cinq colonnes de refroidissement différentes

- trois colonnes de refroidissement avec différentes surfaces de ruissellement
- une colonne de refroidissement vide, sans surface de ruissellement pour examiner la transmission de la chaleur sur la goutte d'eau libre, ou pour la propre surface de ruissellement
- une colonne de refroidissement avec une surface de ruissellement divisée, de telle sorte que la surface de ruissellement puisse être variée, et que l'on puisse mesurer la répartition de la température et de l'humidité à l'intérieur de la colonne de refroidissement

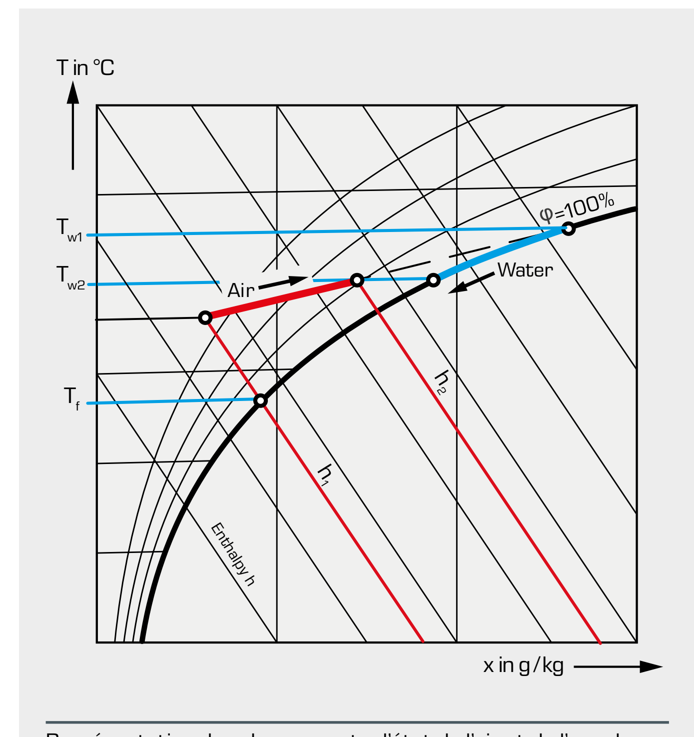
Comment fonctionne une tour de refroidissement?

Les tours de refroidissement sont utilisées lors de l'évacuation de la chaleur perdue, celle-ci étant produite dans le cadre de procédés thermiques, par exemple dans des centrales électriques à vapeur, des installations de climatisation et des refroidisseurs de processus. On fait une distinction entre des tours de refroidissement par voie sèche, et des tours de refroidissement par voie humide. À puissance égale, il est plus facile de construire des tours de refroidissement par voie humide, et il est possible de les construire en format plus réduit. Cela dit, on constate dans leur cas des pertes d'eau à hauteur de 1...2,5% de la quantité d'eau de refroidissement.

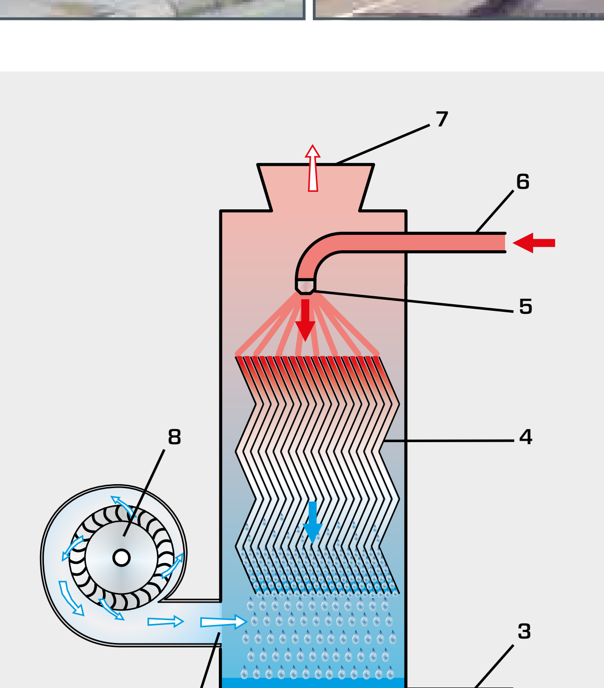
La WL 320 est une tour de refroidissement par voie humide. L'eau devant être refroidie est directement en contact avec l'air. L'eau chaude est pulvérisée en haut dans la tour de refroidissement, descend sur la surface de ruissellement et ce faisant, elle est refroidie. En bas, l'eau refroidie est retirée. L'air entre dans la tour de refroidissement par le bas, circule dans le contre-courant le long de l'eau qui descend, et sort à l'extrémité supérieure.

On fait une distinction entre des tours de refroidissement avec une ventilation atmosphérique, et des tours de refroidissement avec une ventilation forcée. De grandes tours de refroidissement appliquent le principe de la ventilation atmosphérique. Ici, une différence de densité, entre l'air qui se trouve à l'intérieur et l'air qui se trouve à l'extérieur de la tour de refroidissement, assure le déplacement d'air. Dans le cas de petites tours de refroidissement, la différence en termes de densité ne suffit pas pour provoquer un déplacement d'air suffisant; elles sont ventilées de manière forcée par un ventilateur.





Représentation des changements d'état de l'air et de l'eau dans la tour de refroidissement dans le diagramme h,x



Principe d'une tour de refroidissement avec ventilation forcée

1 entrée de l'air, **2** bac collecteur, **3** sortie d'eau froide, **4** surface de ruissellement, **5** buse de répartition de l'eau, **6** entrée d'eau chaude, **7** sortie de l'air, **8** ventilateur

Dans une tour de refroidissement par voie humide ont lieu deux types de transmission de la chaleur. D'abord, la chaleur est directement transmise de l'eau à l'air par convection. En outre, l'eau se refroidit par évaporation partielle. L'élément décisif pour un bon fonctionnement de la tour de refroidissement par voie humide consiste en ce que l'air ne contienne pas trop d'humidité. Pour cette raison, la température de l'eau T_{w2} doit nettement dépasser la température de saturation (température de bulbe humide) T_f de l'air.

WL 320
Tour de refroidissement par voie humide



Description

- **principe et grandeurs caractéristiques d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée**
- **colonne de refroidissement transparente et facile à remplacer avec surface de ruissellement**
- **quatre colonnes de refroidissement supplémentaires disponibles comme accessoires**

Les tours de refroidissement par voie humide sont une sorte de refroidissement en circuit fermé et d'évacuation de chaleur qui a fait ses preuves. Les domaines d'utilisation typiques sont: la climatisation, l'industrie lourde ainsi que les centrales électriques.

L'eau qui est à refroidir est pulvérisée sur des surfaces de ruissellement dans les tours de refroidissement par voie humide. L'eau et l'air entrent directement en contact par contre-courant. L'eau est alors refroidie par convection. Une partie de l'eau s'évapore et la chaleur d'évaporation extraite refroidit également l'eau.

La WL 320 étudie les principaux éléments ainsi que le principe d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée. L'eau est chauffée dans un réservoir et transportée vers le pulvérisateur au moyen d'une pompe. Le pulvérisateur pulvérise l'eau à refroidir sur la surface de ruissellement. L'eau ruisselle de haut en bas, le long de la surface de ruissellement, pendant que l'air circule de bas en haut.

La chaleur est directement transférée de l'eau à l'air par convection et évaporation. La quantité d'eau évaporée est prise en compte. L'écoulement d'air est produit par un ventilateur et ajusté par une vanne papillon.

La colonne de refroidissement est transparente de sorte que la surface de ruissellement et l'eau qui ruisselle puissent être facilement observées. Les colonnes de refroidissement remplaçables WL 320.01 à WL 320.04) permettent des études comparatives.

Tous les paramètres importants du procédé sont pris en compte (le débit volumétrique d'air, les températures de l'air et de l'eau, l'humidité de l'air, le débit d'eau). Les valeurs mesurées peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB. Les changements d'état de l'air sont représentés sur un diagramme h,x.

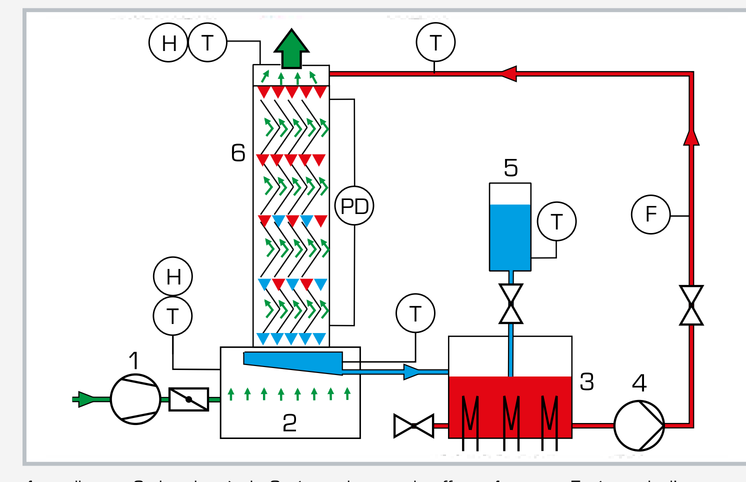
Contenu didactique/essais

- bases thermodynamiques d'une tour de refroidissement par voie humide
- changements d'état de l'air dans le diagramme h,x
- détermination de la puissance frigorifique
- bilans énergétiques
- calcul des paramètres du procédé, comme l'écart entre les limites de refroidissement, largeur de la zone de réfrigération, etc.
- en combinaison avec les colonnes de refroidissement WL 320.01-WL 320.04
  - comparaison entre différentes surfaces de ruissellement

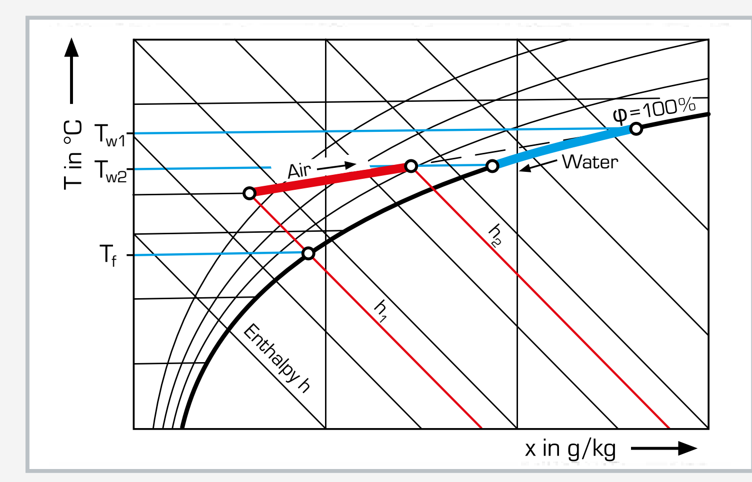
WL 320
Tour de refroidissement par voie humide



1 buse comme pulvérisateur, 2 surface de ruissellement, 3 éléments d'affichage et de commande, 4 chambre à air, 5 ventilateur avec vanne papillon, 6 pompe, 7 réservoir avec dispositif de chauffage, 8 réservoir d'eau supplémentaire, 9 capteur combiné de température et d'humidité



1 ventilateur, 2 chambre à air, 3 réservoir avec chauffage, 4 pompe, 5 réservoir d'eau supplémentaire, 6 colonne de refroidissement avec surface de ruissellement; T température, H humidité, dp pression différentielle, F débit d'eau



Changements d'état de l'air et de l'eau sur le diagramme h,x comme représentation online sur le logiciel

Spécification

[1] principe d'une tour de refroidissement par voie humide à ventilation forcée avec colonne de refroidissement
[2] colonnes de refroidissement avec différentes surfaces de ruissellement disponibles comme accessoires
[3] circuit d'eau avec pompe, filtre, soupape et une buse comme pulvérisateur
[4] dispositif de chauffage à trois niveaux avec thermostat pour préparation de l'eau chaude
[5] ventilateur radial pour la ventilation forcée
[6] vanne papillon pour l'ajustage de l'écoulement d'air
[7] séparateur de gouttelettes à la sortie de la colonne de refroidissement permettant de minimiser la perte d'eau
[8] réservoir d'eau supplémentaire pour compenser la perte d'eau
[9] affichage de la température, de la pression différentielle, du débit et de l'humidité
[10] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Colonne de refroidissement
- surface spécifique de la surface de ruissellement: $110m^2/m^3$, section: 150x150mm

Mesure du débit volumétrique d'air par diaphragme: Ø 80mm
Dispositif de chauffage
- ajustable sur 3 niveaux:
  - 500W
  - 1000W
  - 1500W

Thermostat: se débranchant à 50°C
Ventilateur
- puissance absorbée: 250W
- différence de pression max.: 430Pa
- débit volumétrique max.: $13m^3/min$

Pompe
- hauteur de refoulement max.: 70m
- débit de refoulement max.: 100L/h

Réservoir d'eau supplémentaire: 4,2L

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...1000Pa (air)
- débit: 12...360L/h (eau)
- température: 2x 0...50°C, 3x 0...100°C
- humidité rel.: 10...100%

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1100x470x1230mm
Poids: env. 120kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 colonne de refroidissement de type 1
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 915
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique

L'unité de base ET 915, système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique, propose des essais de base pour les différents domaines du génie frigorifique et du génie climatique.

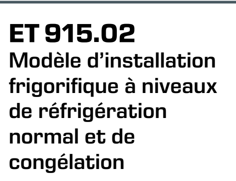
HSI correspond à notre concept didactique global: **H**ardware – **S**oftware – **I**ntegrated.

Génie frigorifique

ET 915.01
Modèle réfrigérateur



ET 915.02
Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation





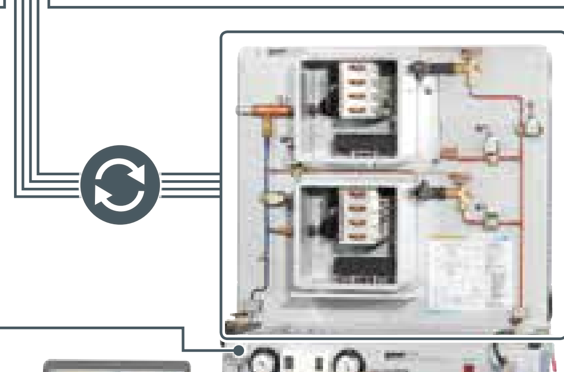
Génie climatique

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple

ET 915.07
Modèle de climatisation



Tous les articles comprennent des éléments d'expansion et des évaporateurs



L'unité de base ET 915 comprend les composants principaux que sont le compresseur et le condenseur

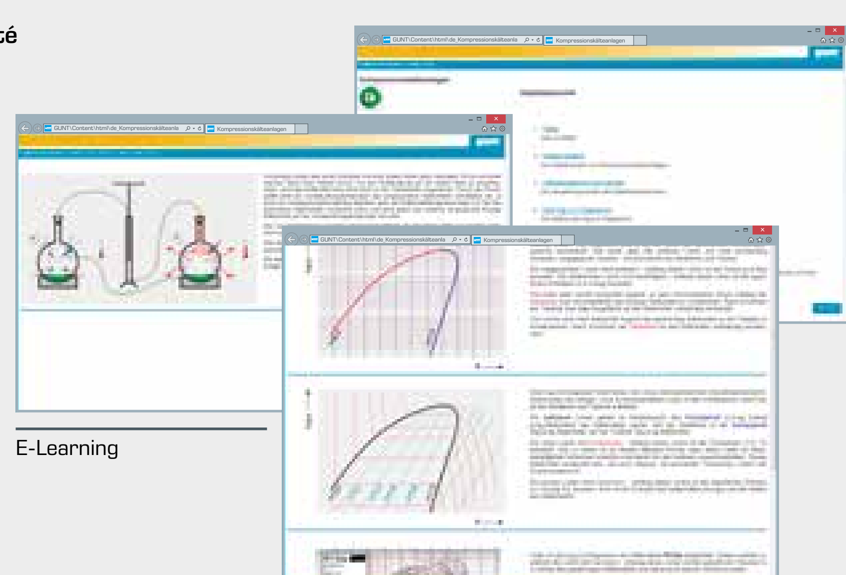


Système modulaire offrant de nombreuses possibilités didactiques

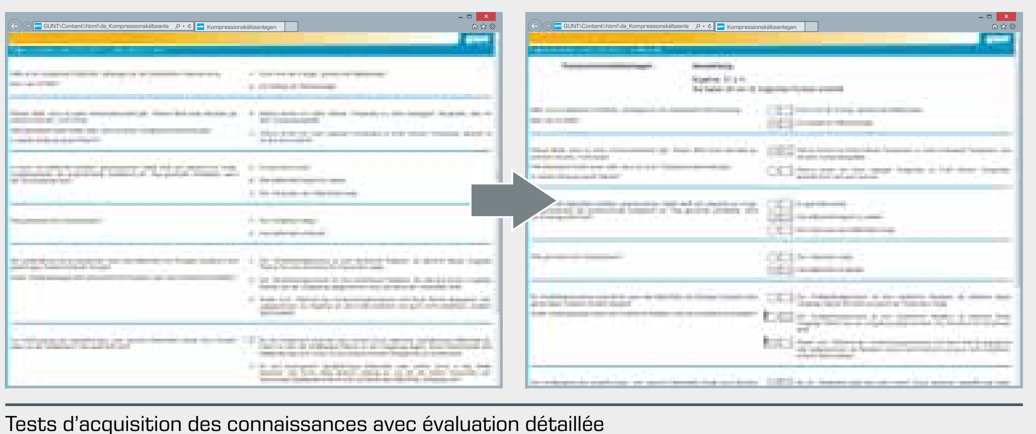
Logiciel d'apprentissage

...avec un enseignement didactique de qualité

- utilisation du logiciel d'apprentissage sur le PC personnel de l'élève ou de l'étudiant
- cours complet de génie frigorifique et climatique, avec tests d'acquisition des connaissances
- grande flexibilité grâce à la mise en place de modules d'apprentissage et de tests personnalisés
- interface intuitive



E-Learning



Tests d'acquisition des connaissances avec évaluation détaillée

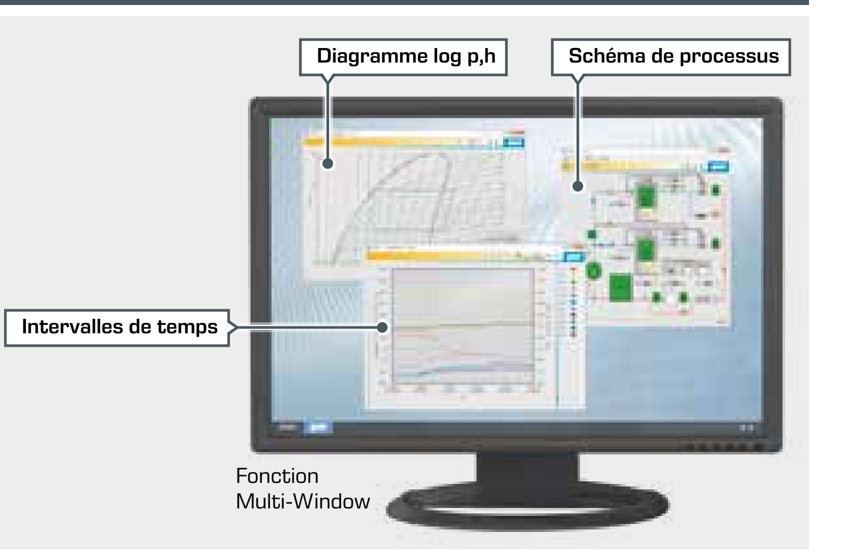
Contrôle ciblé des contenus enseignés

- suivi discret et automatique de la progression des acquis
- identification des lacunes et soutien ciblé

Acquisition de données

...avec capacité de mise en réseau illimitée

- essais interactifs pour les élèves et les étudiants via une connexion réseau
- représentation en temps réel des processus dans le diagramme log p,h et le diagramme h,x
- système Plug & Play via connexion USB





ET 915

Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



Description

- **unité de base pour la construction d'essais de base en génie frigorifique et climatique**
- **environnement d'apprentissage moderne par Hardware/Software Integration (HSI)**
- **quatre modèles pour le génie frigorifique et climatique**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

L'unité de base ET 915 est complétée pour devenir un circuit frigorifique complet selon l'objectif de l'essai avec un des modèles suivants qui peuvent être livrés comme accessoires: ET 915.01 Modèle réfrigérateur, ET 915.02 Modèle d'installation frigorifique à niveaux de réfrigération normal et de congélation, ET 915.06 Modèle d'installation de climatisation simple, ET 915.07 Modèle de climatisation.

Les composants principaux du ET 915 sont le compresseur, le condenseur et le réservoir, ainsi que le système électrique et de communication. Les modèles sont posés sur l'unité de base, et connectés entre eux hydrauliquement et électriquement par des flexibles d'agent réfrigérant. Les accouplements auto-étanches réduisent la perte d'agent réfrigérant au minimum. Tous les composants sont disposés de manière bien visible de sorte qu'il soit possible de bien suivre la fonction.

Le logiciel moderne et très performant fait partie intégrante du système d'exercice sous forme de l'intégration matériel / logiciel (hardware / software integration; HSI). Il permet une exécution et une évaluation confortables des essais. La liaison entre l'appareil d'essai et le PC se fait par une interface USB.

Le logiciel GUNT se compose d'un logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données, et d'un logiciel d'apprentissage. Le logiciel d'apprentissage contribue dans une grande mesure à la compréhension des principes de base théoriques par des textes explicatifs et des illustrations. Pour chaque modèle, il y a un logiciel GUNT adapté à son contenu didactique. Avec l'aide d'un système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices.

Les températures et pressions sont prises en compte dans le système par capteurs, et représentées de manière dynamique sur le logiciel pour la commande de l'installation et l'acquisition de données. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. L'influence des modifications des paramètres peut être suivie online sur les diagrammes log p,h et h,x. L'installation est commandée par le logiciel de la même manière.

Contenu didactique/essais

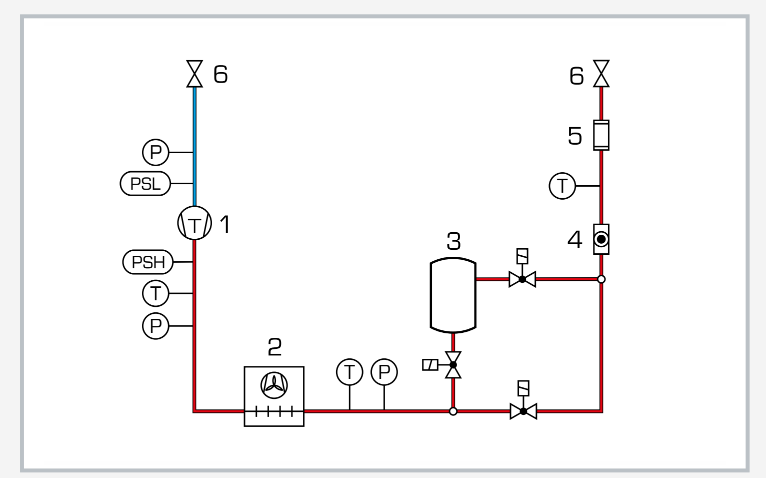
- en combinaison avec le ET 915.01, ET 915.02, ET 915.06 et ET 915.07
  - bases du cycle frigorifique
  - bases de la climatisation de l'air
  - composants d'une installation frigorifique/de climatisation
  - commande de l'installation
  - recherche de pannes

ET 915

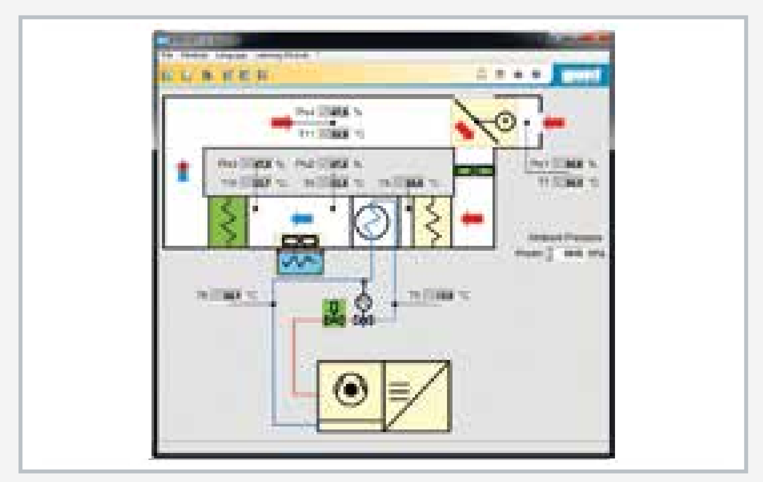
Système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique, unité de base



1 compresseur, 2 condenseur avec ventilateur enclenchable, 3 réservoir, 4 électrovanne, 5 cadre pour accueil du modèle, 6 filtre/sécheur, 7 manomètre, 8 pressostat, 9 flexible d'agent réfrigérant



1 compresseur, 2 condenseur, 3 réservoir, 4 voyant, 5 filtre/sécheur, 6 flexible d'agent réfrigérant pour les modèles;
PSH, PSL pressostat; T température, P pression;
bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus du modèle ET 915.07. Les valeurs de mesure sont affichées "online".

Spécification

[1] essais de base de fonctionnement des installations frigorifiques et de climatisation par la combinaison de l'unité de base et de modèles
[2] système d'exercices GUNT avec technologie HSI
[3] groupe frigorifique se composant d'un compresseur, d'un condenseur et d'un réservoir
[4] liaison entre le groupe frigorifique et le modèle par les flexibles d'agent réfrigérant
[5] modèle fixé de manière sûre à l'ET 915 à l'aide de fermetures à genouillère
[6] manomètre pour l'agent réfrigérant avec échelle de température
[7] débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631
[9] commande de l'installation par électrovannes et logiciel
[10] fonctions du logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Compresseur
- puissance frigorifique: 463W à 7,2/54,4°C
- puissance absorbée: 288W à 7,2/54,4°C

Réservoir: 0,7L

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 700g
- équivalent CO_2: 0,4t

Plages de mesure
- température: 1x -50...50°C, 3x 0...100°C
- pression:
  - 1x côté aspiration: -1...9bar
  - 2x côté pression: -1...15bar
- débit: 0...19kg/h (agent réfrigérant)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 830x650x320mm
Poids: env. 60kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 groupe frigorifique, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec système auteur du logiciel d'apprentissage
1 documentation didactique

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple



Description

- **modèle d'une installation de climatisation simple pour le refroidissement de pièces**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.06 est une partie du système d'exercices HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel de réfrigérateur domestique est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet pour le refroidisseur d'air.

Dans les installations de refroidissement de pièces, l'air à refroidir est aspiré hors de l'espace par un ventilateur, refroidi et redirigé vers l'espace à refroidir. Les bases du refroidissement de pièces, ainsi que les composants d'une installation de climatisation, sont présentés avec ce modèle.

Le modèle ET 915.06 comporte un conduit d'air à front transparent, un ventilateur de déplacement d'air, un évaporateur comme refroidisseur d'air, ainsi qu'une soupape de détente. Tous les composants sont disposés de manière visible sur un panneau.

La commande de composants individuels de l'installation, ici un compresseur et un ventilateur, se produit par le logiciel. Le logiciel offre la possibilité de simuler des pannes.

Le débit volumétrique d'air est déterminé par une mesure de pression différentielle. Les températures et l'humidité sont prises en compte par des capteurs avant et après l'évaporateur, numérisées et représentées de manière dynamique sur le logiciel.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.06. Une évaluation de performance contrôle le progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

Contenu didactique/essais

- installation de climatisation pour le refroidissement de pièces et ses composants principaux
- méthode de travail d'un évaporateur comme refroidisseur d'air
- simulation de pannes

ET 915.06
Modèle d'installation de climatisation simple



1 évaporateur comme refroidisseur d'air, 2 conduit d'air, 3 capteur de température et d'humidité, 4 schéma de processus, 5 raccords à l'ET 915, 6 électrovanne, 7 soupape de détente, 8 ventilateur radial, 9 capteur de pression différentielle

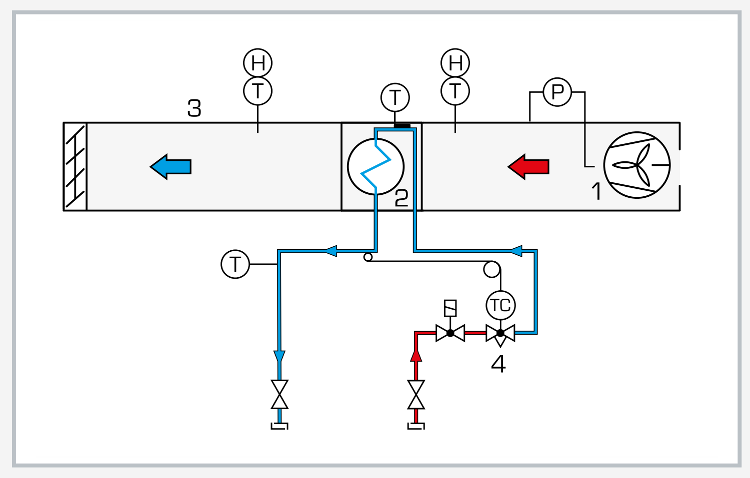
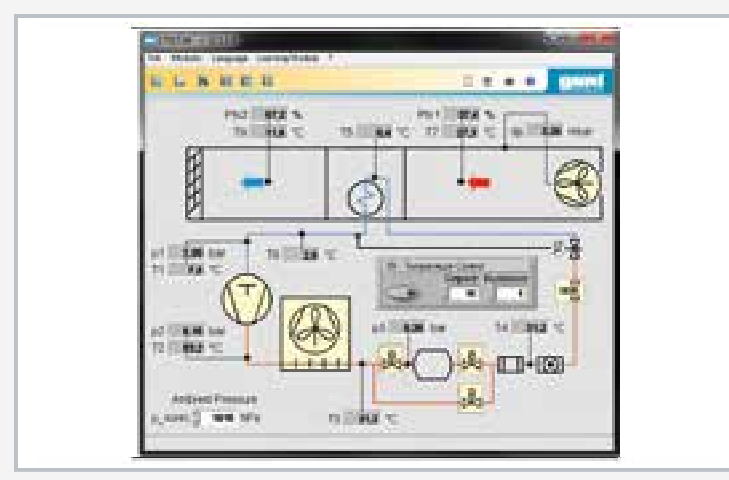


Schéma de processus du modèle d'une installation de climatisation simple:
1 ventilateur radial, 2 refroidisseur d'air, 3 conduit d'air, 4 soupape de détente; T température, P pression, H humidité; flèche rouge: chaud, flèche bleue: froid; bleu: basse pression, rouge: haute pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercices GUNT avec technologie HSI
[3] conduit d'air avec front transparent
[4] évaporateur comme refroidisseur d'air
[5] ventilateur radial avec vanne papillon
[6] soupape de détente thermostatique faisant office d'élément d'expansion
[7] capteurs de température, d'humidité et de pression différentielle pour la détermination du débit volumétrique d'air
[8] commande des composants individuels et de l'installation, et simulation de pannes par le logiciel
[9] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[10] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Conduit d'air: 136x136x435mm

Évaporateur comme refroidisseur d'air
- surface de transfert: env. 900cm^2

Ventilateur radial
- puissance absorbée max.: 80W
- débit de refoulement max.: 255m^3/h

Plages de mesure
- température: 2x ±50°C, 2x 0...100°C
- pression différentielle: 0...10mbar
- humidité: 2x 10...100% rel.

Lxlxh: 970x370x600mm
Poids: env. 35kg

Liste de livraison

1 modèle d'installation de climatisation simple, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB

ET 915.07
Modèle de climatisation



Description

- **modèle complet d'une installation de climatisation complète**
- **chauffer, refroidir, humidifier et déshumidifier**
- **modes d'air extérieur et de circulation d'air possibles**
- **commande des composants et simulation de pannes par le logiciel GUNT**

L'ET 915.07 est une partie du système d'exercice HSI génie frigorifique et climatique. Un modèle fonctionnel d'installation de climatisation complète est créé en combinaison avec l'unité de base ET 915. Le modèle est posé sur l'unité de base, l'ensemble est sécurisé par des fermetures à genouillère, et relié par des flexibles d'agent réfrigérants pour former un circuit frigorifique complet pour le refroidisseur d'air.

Le climat ambiant est formé par l'action combinée de la température ambiante, de la température de chauffage et de l'humidité de l'air. L'objectif de la climatisation de pièces est de façonner un climat ambiant qui réponde aux besoins des personnes ou des denrées sensibles. Ce modèle permet de présenter le fonctionnement d'une installation de climatisation, ses composants principaux, ainsi que les modes de fonctionnement de circulation d'air et d'air extérieur.

Le modèle ET 915.07 comporte deux conduits d'air à front transparent. Pendant que le conduit d'air supérieur fait office de chambre de climatisation, le refroidisseur d'air, deux réchauffeurs d'air électrique et un humidificateur à vapeur se trouvent dans le conduit d'air intérieur. Un ventilateur se trouve entre les deux conduits d'air, de sorte que l'air circule. Un volet entraîné par un moteur se trouve dans le conduit d'air supérieur, et permet une commutation entre les modes de circulation d'air extérieur et de circulation d'air. Selon la commutation choisie des deux réchauffeurs d'air, du refroidisseur d'air et de l'humidificateur, l'air dans le système de canaux peut être refroidi, chauffé, humidifié ou déshumidifié.

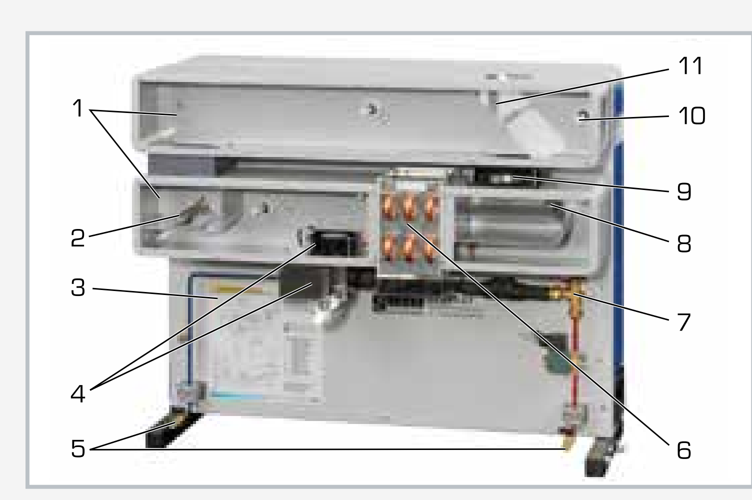
La commande de composants individuels de l'installation se produit par le logiciel. La température et l'humidité sont prises en compte par des capteurs avant et après l'évaporateur, ainsi que dans la chambre de climatisation, numérisées et représentées de manière dynamique sur le logiciel. Le conditionnement de l'air peut être suivi online sur le diagramme h,x.

Les principes de base et les composants individuels sont représentés dans le logiciel d'apprentissage de l'ET 915.07. Une évaluation de performance contrôle les progrès. Avec l'aide du système auteur, le professeur peut créer d'autres exercices et d'autres évaluations de performance.

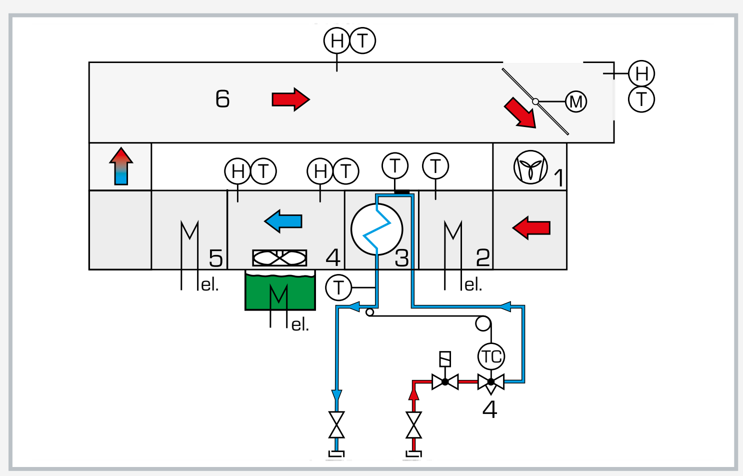
Contenu didactique/essais

- installation de climatisation et ses composants principaux
- chauffage et refroidissement sur le diagramme h,x
- humidification et déshumidification sur le diagramme h,x
- mode de circulation d'air extérieur et de circulation d'air
- simulation de pannes

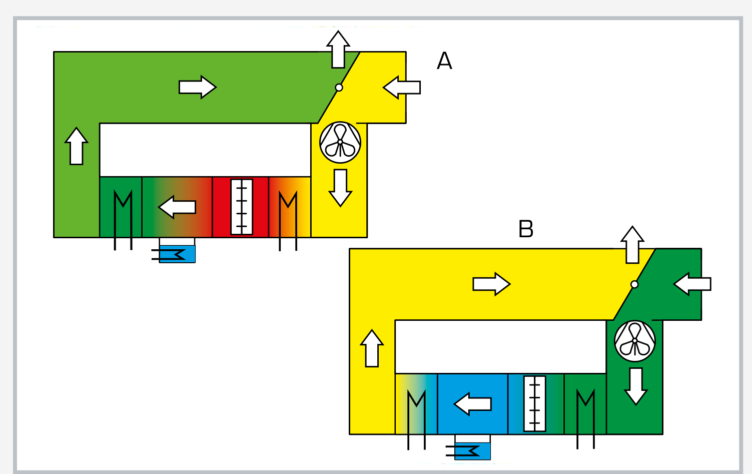
ET 915.07
Modèle de climatisation



1 conduit d'air, 2 réchauffeur d'air, 3 schéma de processus, 4 humidificateur d'air, 5 raccords à l'ET 915, 6 évaporateur, 7 soupape de détente, 8 préchauffeur d'air, 9 ventilateur, 10 capteur d'humidité et de température, 11 volet de ventilation



Climatisation en mode de circulation d'air:
1 ventilateur, 2 préchauffeur d'air, 3 refroidisseur d'air, 4 humidificateur d'air, 5 réchauffeur d'air, 6 conduit d'air, 7 volet de ventilation avec servomoteur, 8 soupape de détente; T température, P pression, H humidité; flèche rouge: chaud; flèche bleue: froid, bleu: basse pression, rouge: haute pression



Climatisation avec mode de circulation d'air extérieur;
A: humidification, B: déshumidification; jaune: sec, vert: humide, bleu: refroidir, rouge: chauffer

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation à poser sur l'unité de base ET 915
[2] système d'exercice GUNT avec technologie HSI
[3] conduit d'air avec front transparent et volet de ventilation ajustable pour mode de circulation d'air ou de circulation d'air extérieur
[4] évaporateur comme refroidisseur d'air
[5] 2 dispositifs de chauffage comme préchauffeur ou de réchauffeur d'air
[6] humidificateur d'air avec interrupteur à flotteur, ventilateur, affichage du niveau de remplissage
[7] soupape de détente thermostatique comme élément d'expansion
[8] capteurs d'acquisition de température, ainsi que capteur combiné d'humidité et de température
[9] commande des composants individuels et de l'installation, et simulation de pannes par le logiciel
[10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[11] logiciel GUNT: logiciel d'apprentissage, acquisition de données, commande de l'installation

Caractéristiques techniques

Conduit d'air, en haut: 136x136x800mm

Évaporateur comme refroidisseur d'air
- surface de transfert: env. 900cm^2

Réchauffeur d'air
- 2x 250W

Ventilateur axial
- puissance absorbée max.: 20W
- débit de refoulement max.: 160m^3/h

Humidificateur
- dispositif de chauffage: 200W

Plages de mesure
- température: 2x -50...50°C, 5x 0...50°C
- humidité rel.: 4x 10...100%

Lxlxh: 850x400x680mm
Poids: env. 51kg

Liste de livraison

1 modèle de climatisation, rempli d'agent réfrigérant
1 flacon à col étroit
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB



ET 605 Modèle d’installation de climatisation et des solutions d’automatisation

Une installation de climatisation modèle proche de la pratique avec l’ensemble des éléments et des fonctions

Les bases du génie climatique peuvent se transmettre de manière idéale sur le modèle ET 605. L’installation de climatisation se compose d’un conduit d’air avec une face avant transparente, et d’une chambre de refroidissement avec deux charges de refroidissement différentes. L’ensemble de la structure de l’installation s’oriente d’après des approches didactiques et méthodiques, soutenant ainsi le processus d’apprentissage.

Les principales fonctions de l’installation, à savoir le refroidissement, le chauffage, l’humidification et le transport d’air, sont activées ou désactivées par des interrupteurs. Il est possible d’utiliser l’installation en mode de circulation d’air et en mode air extérieur. L’ensemble des données mesurées pertinentes peut être lu sur des affichages numériques.

Un élargissement essentiel du spectre de l’objectif d’apprentissage est possible par le fait que l’installation puisse être élargie avec différentes approches pour en faire un système entièrement automatisé.

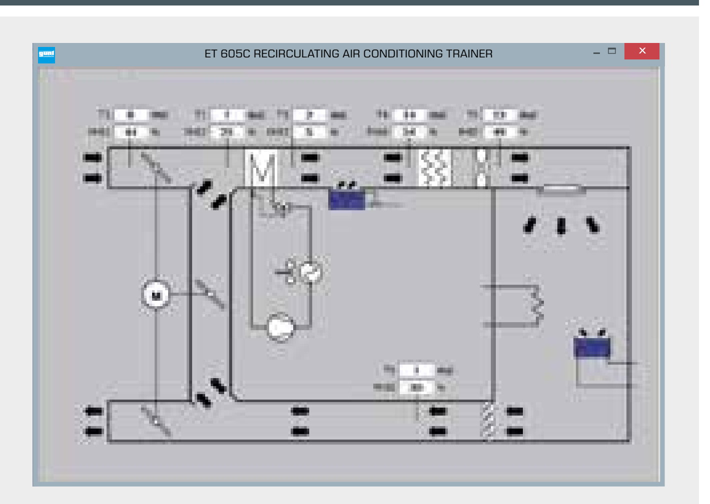


La solution logicielle: claire et polyvalente

ET 605.01 Régulateur logiciel avec acquisition de données

Acquisition de données et visualisation, réglage et utilisation d’une solution logicielle

Cette solution est recommandée si ce sont des critères didactiques et méthodiques qui se trouvent au premier plan. Comparé à un régulateur industriel, le logiciel propose une représentation attrayante et très claire du processus de climatisation.



La solution industrielle

ET 605.02 Régulateur de climatisation

Cette solution d’automatisation est recommandée si l’objectif de la formation consiste dans la connaissance précise d’un régulateur de climatisation courant. Le régulateur, adapté à l’installation ET 605, offre un vaste ensemble de fonctions et un écran graphique. Il commande les composants en fonction de la température et de l’humidité que l’on souhaite obtenir dans la chambre de refroidissement.



Le bon outil pour mettre en œuvre ses propres idées

ET 605.03 Boîte de raccordement E/S

Cette solution est recommandée lorsque le sujet de l’automatisation est primordial, et que des solutions propres doivent être trouvées.
La boîte de raccordement met à disposition tous les signaux d’entrée et de sortie pertinents, ceux-ci pouvant ensuite être traités par l’utilisateur selon ses souhaits et ses idées. On peut par exemple imaginer ici le raccordement d’un régulateur de climatisation industriel quelconque, ou d’un logiciel que l’on écrit soi-même.



ET 605
Modèle d'installation de climatisation



Description

- **chambre de climatisation avec source de chaleur latente et sensible comme charge de refroidissement**
- **mode de circulation d'air et d'air extérieur**
- **logiciel d'acquisition de données en option (ET 605.01)**
- **possibilités de raccordement pour l'utilisation de différentes solutions d'automatisation**

Le génie climatique est un sujet central en ingénierie de bâtiment. C'est pour cette raison que le génie climatique joue un grand rôle dans la formation des spécialistes et des ingénieurs.

Le banc d'essai ET 605 représente une installation de climatisation complète avec un conduit d'air et une chambre de climatisation. Les composants principaux de l'installation de climatisation sont le refroidisseur d'air avec groupe frigorifique, le ventilateur, l'humidificateur à vapeur et le réchauffeur d'air. Trois volets de ventilation motorisés régulent la répartition de l'air dans l'installation de climatisation. La chambre de climatisation est équipée de deux sources de chaleurs différentes (humide et sèche).

La température et l'humidité relative sont mesurées sur les points pertinents du conduit d'air puis affichées numériquement. Dans le cas du circuit frigorifique, deux manomètres dotés d'une échelle de température et d'un débitmètre fournissent toutes les valeurs de mesure pertinentes.

L'ET 605 est utilisé manuellement. Une caractéristique essentielle de l'installation de climatisation tient au fait qu'elle est entièrement préparée pour différentes solutions d'automatisation. L'utilisateur peut ainsi faire de ce sujet important un sujet de cours. Les solutions suivantes sont à disposition:

- régulateur logiciel ET 605.01
- régulateur de climatisation industriel ET 605.02
- boîte de raccordement de signalisation ET 605.03 pour l'accolage d'une solution utilisateur individuelle.

Contenu didactique/essais

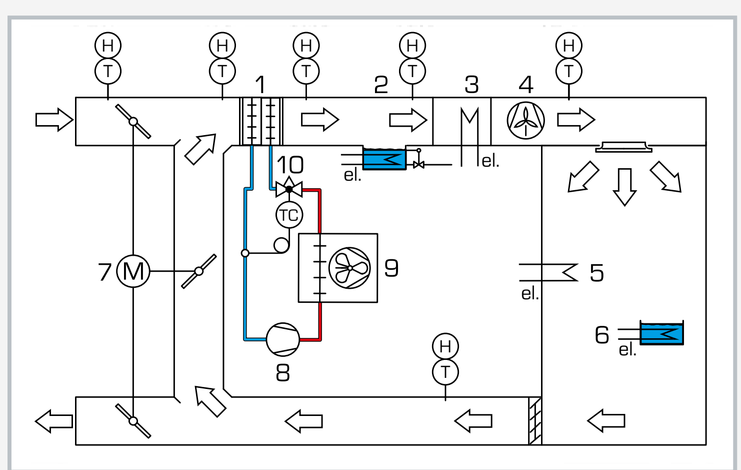
- installation de climatisation et ses composants
- conditionnement de l'air ambiant
- mélange de différents écoulements d'air
- représentation de l'air humide sur un diagramme h,x
  - humidifier et déshumidifier
  - chauffer et refroidir
- représentation du circuit frigorifique sur le diagramme log p,h
- effets d'une charge de refroidissement (sèche et humide)
- modes de fonctionnement de circulation d'air et de circulation d'air extérieur

- en combinaison avec les accessoires en option:
  - automatisation d'une installation de climatisation

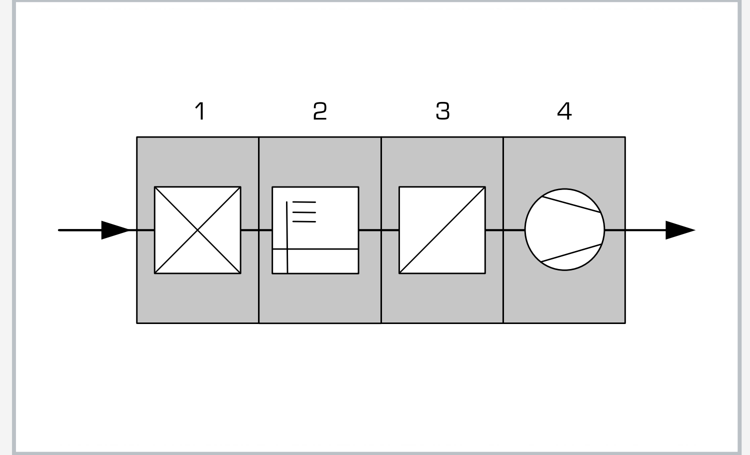
ET 605
Modèle d'installation de climatisation



1 débitmètre agent réfrigérant, 2 servomoteur, 3 volet de ventilation, 4 manomètre de l'agent réfrigérant, 5 groupe frigorifique, 6 chambre de climatisation avec source de chaleur sensible et latente, 7 conduit d'air pour le capteur de température/d'humidité, 8 ventilateur, 9 réchauffeur d'air, 10 éléments d'affichage et de commande, 11 humidificateur, 12 refroidisseur d'air



1 refroidisseur d'air, 2 humidificateur, 3 réchauffeur d'air, 4 ventilateur, 5 source de chaleur sensible, 6 source de chaleur latente, 7 servomoteur pour volets de ventilation, 8 compresseur, 9 condenseur, 10 soupape de détente; T température, H humidité



Structure schématique de l'installation de climatisation selon DIN 1946
1 refroidisseur d'air, 2 humidificateur, 3 réchauffeur d'air, 4 ventilateur

Spécification

[1] modèle d'une installation de climatisation avec modes d'air extérieur et de circulation d'air
[2] conduit d'air à front transparent
[3] conduit d'air avec ventilateur, refroidisseur d'air, humidificateur, volets, réchauffeur d'air et capteurs
[4] chambre avec source de chaleur humide (latente) et sèche (sensible) comme charge de refroidissement
[5] volets motorisés pour les modes d'air extérieur et de circulation d'air
[6] schéma de processus avec lampes de signalisation
[7] installation de climatisation préparée pour différentes solutions d'automatisation: 4 câbles de données de raccords pour l'accolage des accessoires
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur (groupe frigorifique refroidi par air)
- puissance absorbée: 159W à 7,2/54,4°C
- puissance frigorifique: 380W à 7,2/54,4°C

Humidificateur
- puissance de chauffe: 400W

Réchauffeur d'air
- puissance de chauffe: 360W

2 dispositifs de chauffage dans la chambre en guise de charge de refroidissement
- puissance: chacun 0...250W, ajustable en continu

Section d'écoulement du conduit d'air
- lxh: 155x155mm

Agent réfrigérant: R513A, GWP: 631
- volume de remplissage: 1,2kg
- équivalent CO_2: 0,8t

Plages de mesure
- température: 0...50°C
- humidité rel.: 10...90%
- puissance absorbée: 0...600W (groupe frigorifique)
- puissance: 2x 0...300W (charge de refroidissement)
- pression: -1...9bar / -1...24bar (agent réfrigérant)
- débit: 1,5...23,5L/h (agent réfrigérant)
- vitesse de l'air: 0...2,5m/s

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2210x800x1740mm
Poids: env. 280kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain

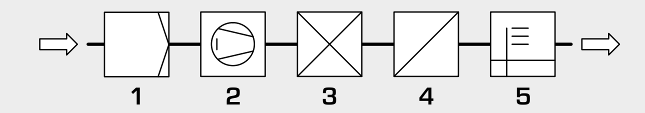
Liste de livraison

1 banc d'essai, rempli d'agent réfrigérant
1 documentation didactique

Connaissances de base

Assemblage d'une installation de climatisation

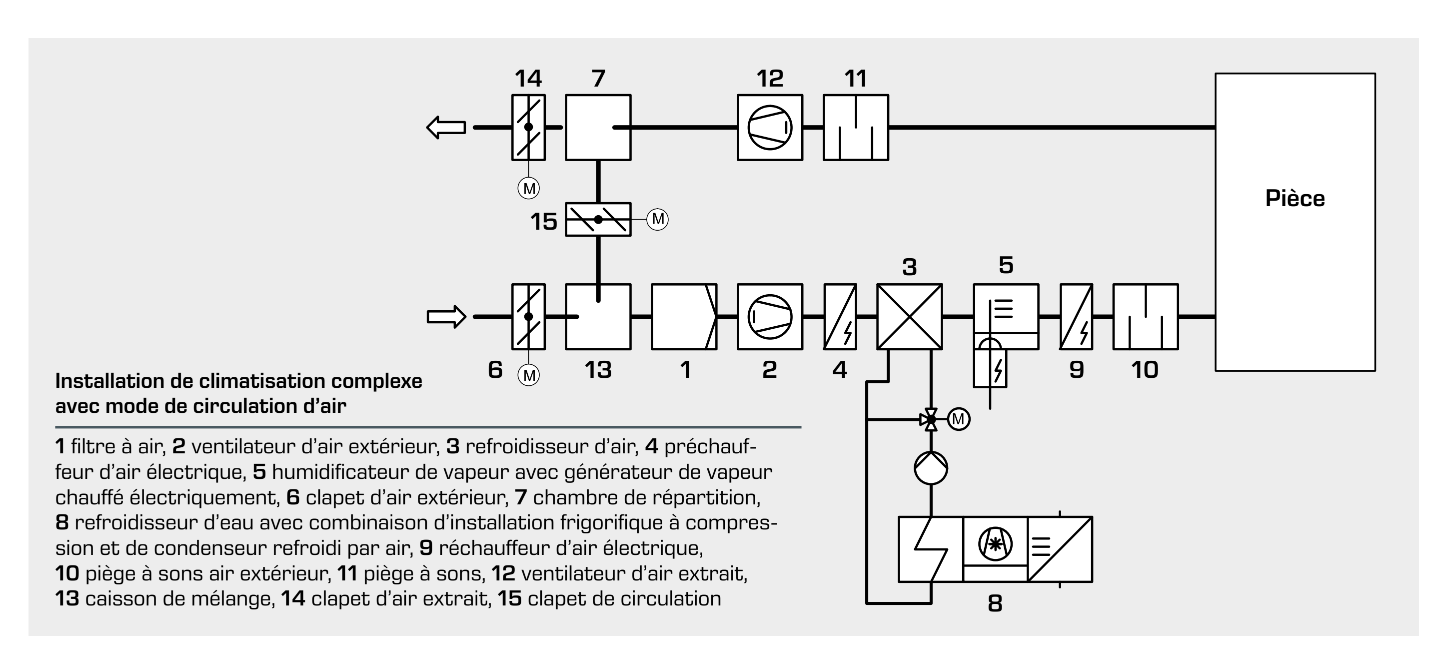
Installation de climatisation complète simple



Dans le cas le plus simple, une installation de climatisation complète contient les composants suivants:

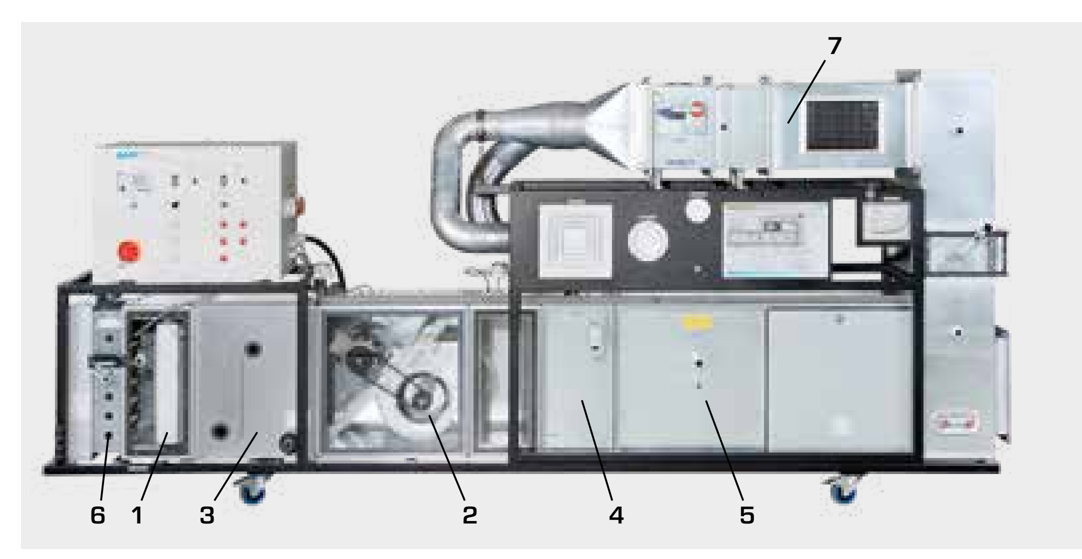
1 filtre à air: il élimine la poussière et les impuretés contenues dans l'air
2 ventilateur: il aspire l'air et l'achemine à travers l'installation
3 refroidisseur d'air: il refroidit et déshumidifie l'air
4 réchauffeur d'air: il chauffe l'air et compense la perte de température lors de la déshumidification et de l'humidification
5 humidificateur de l'air: il apporte de l'humidité à l'air

Bien souvent, des installations de climatisation réelles ont une structure plus complexe. Afin de faire des économies d'énergie, l'air extrait provenant de la pièce peut de nouveau être acheminé dans celle-ci, après le traitement. On parle dès lors du mode de circulation d'air. Le ratio entre la circulation d'air et l'air extérieur est géré via des vannes papillon. Dans le schéma présenté ci-dessous, le refroidisseur d'air est alimenté avec de l'eau froide provenant d'un refroidisseur d'eau. L'humidificateur d'air et le réchauffeur d'air sont chauffés électriquement.



Installation de climatisation complexe avec mode de circulation d'air

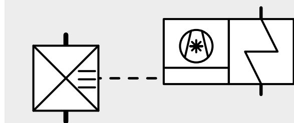
1 filtre à air, **2** ventilateur d'air extérieur, **3** refroidisseur d'air, **4** préchauffeur d'air électrique, **5** humidificateur de vapeur avec générateur de vapeur chauffé électriquement, **6** clapet d'air extérieur, **7** chambre de répartition, **8** refroidisseur d'eau avec combinaison d'installation frigorifique à compression et de condenseur refroidi par air, **9** réchauffeur d'air électrique, **10** piège à sons air extérieur, **11** piège à sons, **12** ventilateur d'air extrait, **13** caisson de mélange, **14** clapet d'air extrait, **15** clapet de circulation



Banc d'essai installation de climatisation ET 620

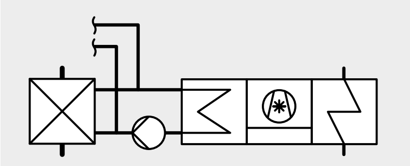
1 filtre à air,
2 ventilateur,
3 refroidisseur d'air,
4 réchauffeur d'air,
5 chambre d'humidificateur,
6 volet d'aération,
7 système de répartition avec clapets et bouches de ventilation

Refroidisseurs d'air



- **évaporateur direct d'une installation frigorifique à compression**

  Avantage: assemblage simple et peu coûteux



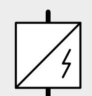
- **circuit d'eau froide avec installation frigorifique à compression**

  Avantage: il est possible de commander plusieurs refroidisseurs via une installation de climatisation



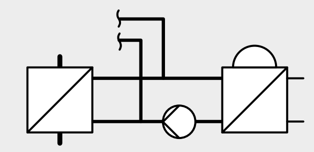
Évaporateur direct comme refroidisseur d'air

Réchauffeurs d'air



- **réchauffeur d'air électrique**

  Avantage: assemblage simple, facile à régler



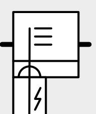
- **circuit d'eau chaude avec chaudière**

  Avantage: tous les combustibles et toutes les sources de chaleur sont possibles, et il est possible de connecter plusieurs réchauffeurs d'air à une source de chaleur



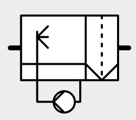
Réchauffeur d'air électrique

Humidificateurs d'air



- **humidificateur de vapeur**

  Avantage: pas de refroidissement par évaporation, hygiénique



- **humidificateur à pulvérisation, équipé d'un séparateur de gouttes**

  Avantage: peut également fonctionner comme refroidisseur d'air



Humidificateur de vapeur



Un exemple emprunté à la pratique: des installations de climatisation industrielles équipées de grands filtres, pour la construction d'une salle blanche

ET 600
Conditionnement de l'air ambiant



Description

- **installation de climatisation avec humidificateur à vapeur**
- **large programme d'expérimentation pour le conditionnement de l'air ambiant**
- **représentation des bases thermodynamiques dans les diagrammes log p,h et h,x**
- **enregistrement dynamique du débit massique de réfrigérant**

Dans de nombreuses situations de la vie quotidienne, l'état de l'air ambiant ne correspond pas aux conditions requises par exemple pour une serre tropicale, la fabrication de pièces fragiles ou encore pour des espaces de travail agréables. Pour répondre aux conditions requises, la vitesse d'écoulement, la température et l'humidité de l'air peuvent être ajustées au climat ambiant souhaité à l'aide d'installations de climatisation.

Le banc d'essai ET 600 étudie le fonctionnement et les effets de chacun des composants d'une installation de climatisation. ET 600 comprend tous les composants utilisés en ingénierie de bâtiment. Une attention particulière a été portée à l'utilisation de composants originaux.

Pour le conditionnement de l'air, un refroidisseur d'air (évaporateur direct avec groupe frigorifique), un humidificateur à vapeur, un ventilateur, un préchauffeur d'air et un réchauffeur d'air sont disposés dans un conduit d'air ouvert. Chacun de ces composants peut être activé ou désactivé. Il est alors aussi intéressant d'observer l'impact d'un composant ou d'une association au choix de plusieurs composants sur le conditionnement de l'air.

Les capteurs mesurent la température et l'humidité de l'air avant et après chaque étape, ainsi que les pressions et températures de l'agent réfrigérant. Le débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées. Les valeurs de mesure peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

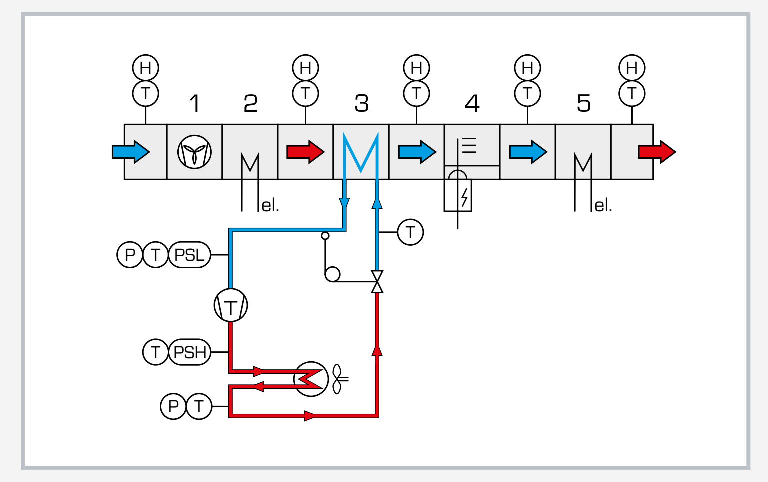
Contenu didactique/essais

- climatisation de l'air ambiant
  - structure d'une installation de climatisation: composants principaux et leur fonctionnement
  - grandeurs d'influence en climatisation
  - mesure de la température et de l'humidité de l'air
  - influence de l'écoulement d'air
  - modifications de l'état dans le diagramme h,x
- structure d'une installation frigorifique: composants principaux et leur fonctionnement
- mesures dans le circuit frigorifique
  - cycle dans le diagramme log p,h
  - détermination de la puissance thermique et de la puissance frigorifique

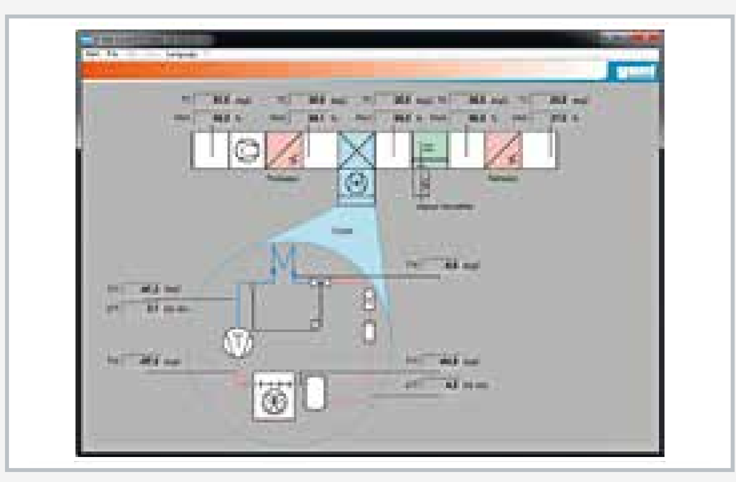
ET 600
Conditionnement de l'air ambiant



1 éléments de commande, 2 refroidisseur d'air (évaporateur direct), 3 ventilateur, 4 préchauffeur d'air, 5 capteur de température, 6 groupe frigorifique, 7 humidificateur d'air, 8 réchauffeur d'air, 9 conduit d'air, 10 manomètre à tube incliné, 11 éléments d'affichage



Structure de l'installation de climatisation: 1 ventilateur, 2 préchauffeur d'air, 3 refroidisseur d'air, 4 humidificateur d'air, 5 réchauffeur d'air; H humidité, T température, P pression



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

Spécification

[1] influence des composants typiques d'une installation de climatisation sur le conditionnement de l'air ambiant
[2] installation de climatisation av. conduit d'air ouvert, refroidisseur d'air, humidificateur à vapeur, ventilateur, préchauffeur d'air et réchauffeur d'air
[3] tous les composants peuvent être activés ou désactivés individuellement
[4] détermination du débit volumétrique d'air par la mesure de la pression différentielle à l'aide d'un manomètre à tube incliné
[5] capteur combiné d'humidité et de température de l'air avant et après chaque étape
[6] capteurs mesurant la pression et la température de l'agent réfrigérant, débit massique de réfrigérant est calculé dans le logiciel à partir des valeurs mesurées enregistrées
[7] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Humidificateur à vapeur
- puissance absorbée: 4kW
- capacité de vapeur: 5,5kg/h, commutable à 3 étapes

Ventilateur
- puissance absorbée: 1670W
- débit volumétrique max.: 1150m³/h
- vitesse de rotation: 1000...2600min^{-1}, Δp_{max}: 460Pa

Préchauffeur d'air: 1kW, commutable à 2 étapes
Réchauffeur d'air: 2kW, commutable à 2 étapes
Conduit d'air, lxh: 300x300mm
Compresseur
- puissance absorbée: 1kW à -5/50°C
- puissance frigorifique: 2,1kW à -5/50°C

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 3,1kg
- équivalent CO_2: 2t

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...100Pa
- température: 5x 0...50°C, 4x -100...200°C
- humidité: 5x 10...90%
- pression: -1...15bar, -1...24bar (agent réfrigérant)
- débit: 0...80kg/h (agent réfrigérant)

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2570x790x1750mm
Poids: env. 330kg

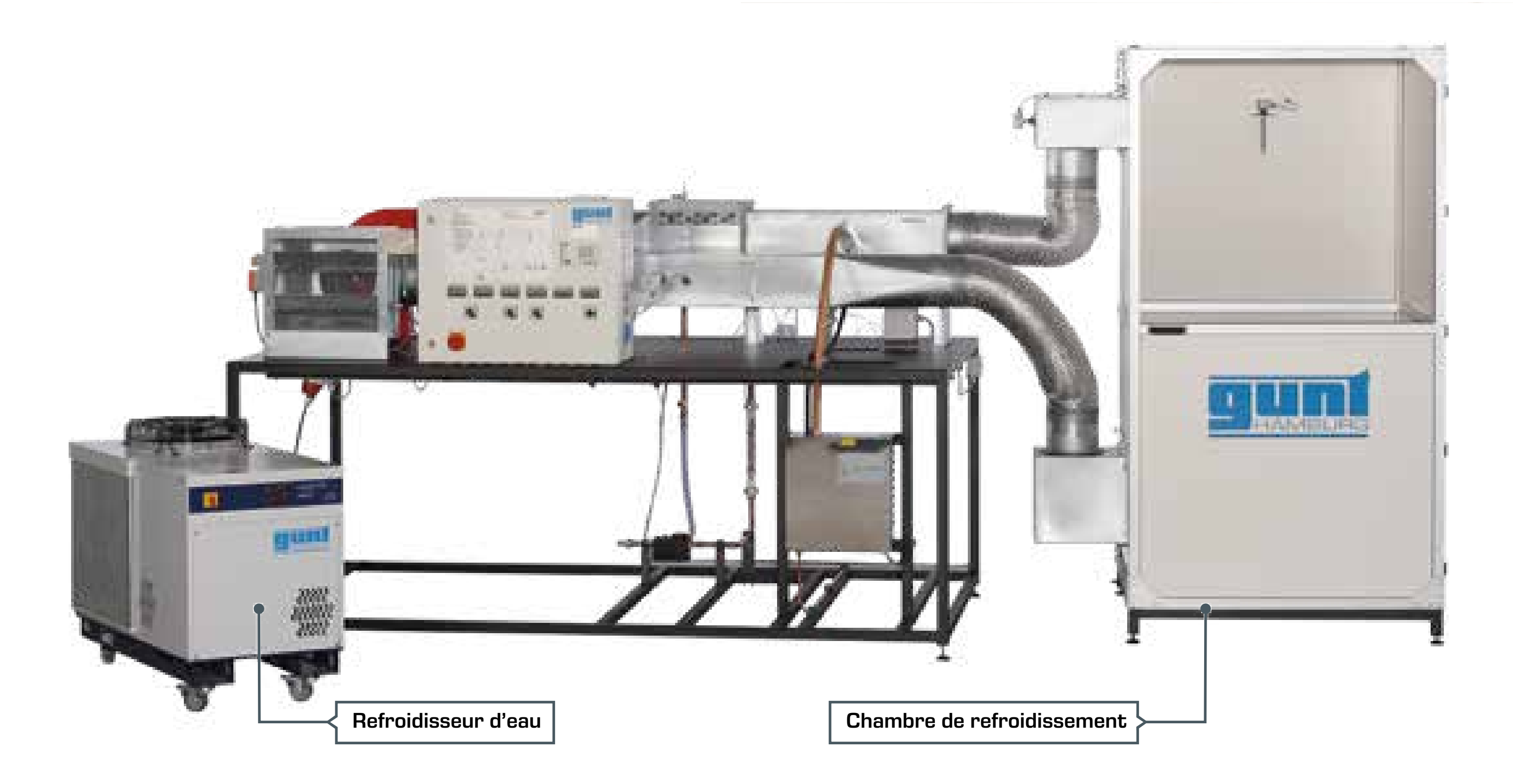
Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain, PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

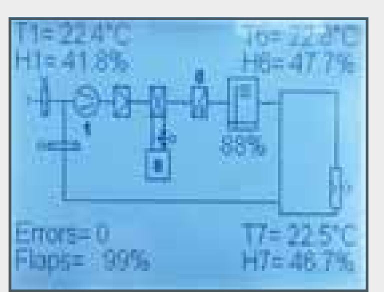
ET 611 Installation de climatisation avec chambre pour réaliser des études de confort



Plus que l'étude quantitatif du climat de la pièce: sentir le confort sur son propre corps

La climatisation de l'air s'effectue dans une chambre fermée qui est assez grande pour accueillir des personnes. Ainsi est-il possible d'étudier l'influence du climat ambiant sur le confort personnel. ET 611 est une installation réelle qui abrite des composants typiques de grandes installations de climatisation: refroidisseur d'eau, régulateur API, cassette de filtre. L'installation fonctionne en mode air extérieur et en mode de circulation d'air.

Réglage climatique avec API



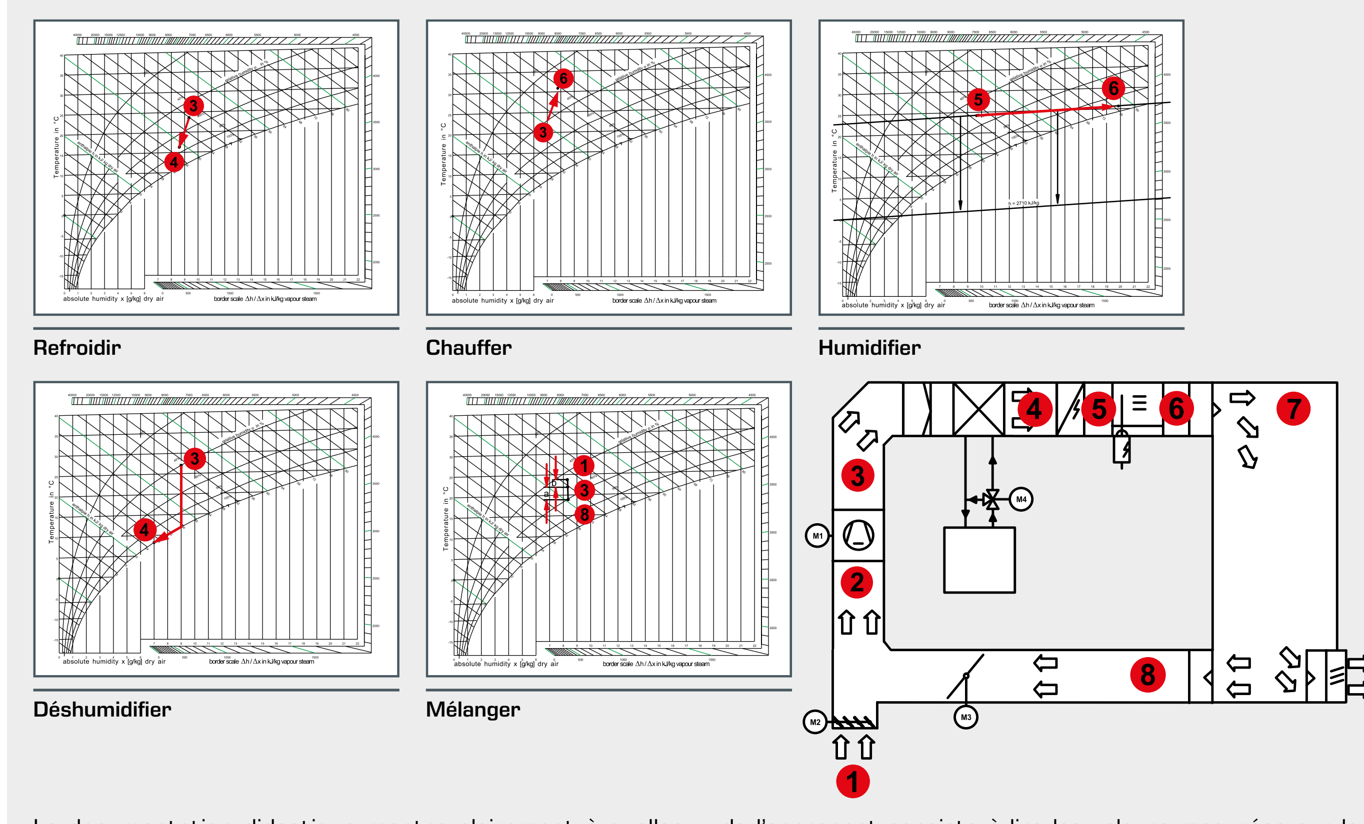


La commande de l'installation de climatisation s'effectue par API. La gestion des différentes fonctions de API est apprise progressivement:

- affichage d'alarmes
- affichage des valeurs mesurées
- introduction des grandeurs de référence
- introduction des paramètres de régulateur
- introduction de valeurs limites

...et beaucoup d'autres choses.

Documentation didactique et logiciel: une aide pour des progrès d'apprentissage rapides



Refroidir
Chauffer
Humidifier
Déshumidifier
Mélanger

La documentation didactique montre clairement à quelles positions de l'installation de climatisation ont lieu les différents changements d'état de l'air. La mesure manuelle affiche uniquement des états stationnaires. Outre des évolutions de temps, le logiciel permet de procéder à l'affichage dynamique des valeurs mesurées dans le diagramme h,x afin de pouvoir mieux observer des opérations non stationnaires. La tache de l'apprenant consiste à lire les valeurs mesurées sur les positions pertinentes de l'installation de climatisation, à les inscrire correctement dans le diagramme h,x et à procéder à leur évaluation.



Représentation des changements d'état dans le diagramme h,x

Schéma de processus avec représentation en ligne des données

Représentation du bilan énergétique dans le diagramme de Sankey

ET 611
Installation de climatisation avec chambre



Description

- **installation de climatisation réelle avec refroidisseur d'eau et chambre climatique**
- **chambre servant aux recherches sur le bien-être, adaptée à l'accueil de personnes**
- **régulateur de climatisation avec API intégré**
- **acquisition des données avec le logiciel**

Le bien-être joue souvent un rôle important dans la climatisation des pièces et des bâtiments. Le bien-être dépend de la température, de l'humidité relative de l'air et de la vitesse d'écoulement de l'air. La DIN 13779 définit ce qu'on appelle une "zone de bien-être" qui fixe les valeurs qui doivent être atteintes par une installation de climatisation.

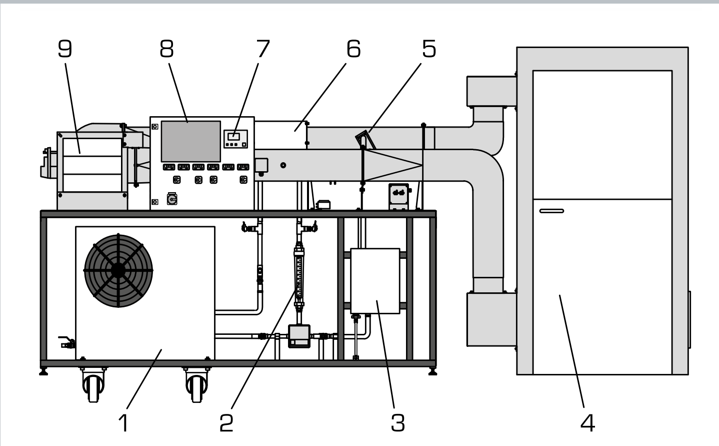
ET 611 est une installation de climatisation complète offrant de nombreuses possibilités d'essais. L'impact de l'humidité de l'air et de la température sur le bien-être est étudié. L'installation dispose d'une chambre climatique équipée pour accueillir des personnes. Ce qui permet à l'apprenant d'étudier l'impact de différents états de fonctionnement de l'installation sur le ressenti individuel. Les composants utilisés comme le ventilateur radial, le réchauffeur d'air électrique, l'humidificateur à vapeur et le refroidisseur d'eau sont tous d'un usage courant dans les techniques commercialisées de climatisation et de ventilation. Un régulateur de climatisation API surveille et commande toutes les fonctions. Il permet une marche automatique mais aussi manuel de l'installation.

Les capteurs mesurent l'humidité de l'air, la température, la puissance, le débit et et la vitesse d'écoulement. Les valeurs de mesure peuvent être lues sur des affichages numériques. Les valeurs sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

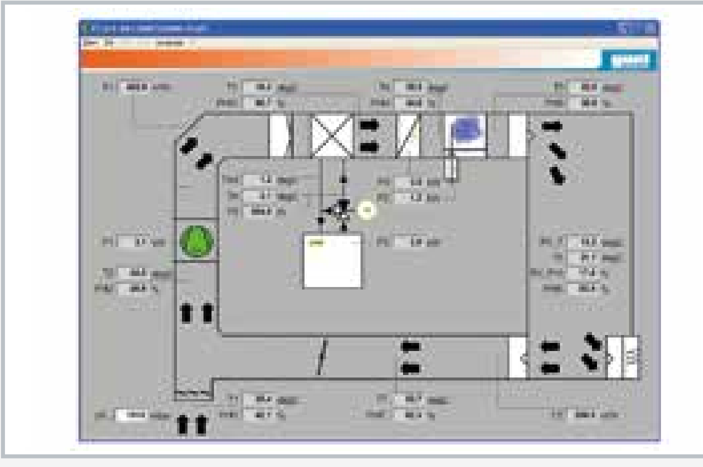
Contenu didactique/essais

- structure, fonctionnement et comportement en service d'une installation de climatisation réelle
- mode de circulation d'air ou de circulation d'air extérieur
- changements d'état dans le diagramme h,x pour air humide: chauffer, refroidir, humidifier ou déshumidifier, mélanger
- utilisation de la droite de mélange
- recherches sur le bien-être, courbe de temps lourd
- bilan énergétique dans le diagramme Sankey
- régulateur de climatisation API
  - régulation d'humidité
  - régulation de température
  - fonctionnement manuel ou automatique

ET 611
Installation de climatisation avec chambre



1 refroidisseur d'eau, 2 débitmètre, 3 humidificateur à vapeur, 4 chambre climatique, 5 distributeur de vapeur (humidificateur), 6 refroidisseur d'air, 7 régulateur de climatisation API, 8 coffret de commande avec schéma de processus, éléments de commande et d'affichage, 9 entrée d'air extérieur avec ventilateur; couvert: réchauffeur d'air



Capture d'écran du logiciel: schéma de processus

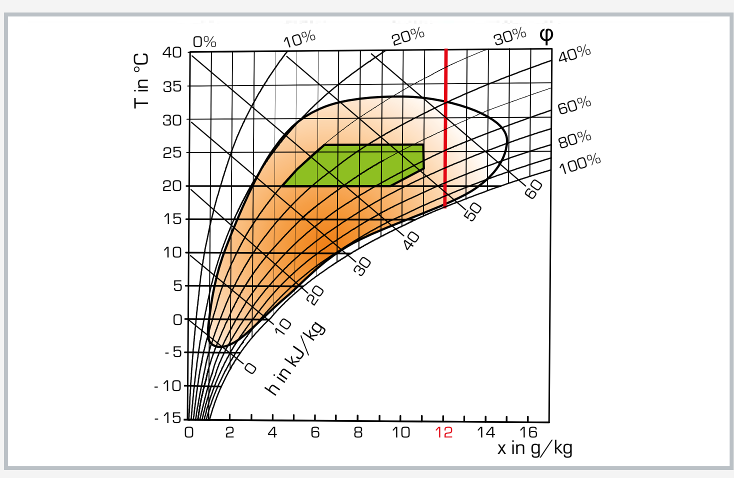


Diagramme h,x avec zone de bien-être (en vert) et courbe de temps lourd (en rouge; x=12g/kg); h enthalpie, x humidité absolue de l'air, T température, φ humidité relative de l'air

Spécification

[1] installation de climatisation avec chambre pour essais sur les techniques de climatisation et de ventilation
[2] chambre adaptée à l'accueil de personnes
[3] régulateur de climatisation API, fonctionnement manuel ou automatique
[4] composants industriels: ventilateur, refroidisseur d'eau refroidi par air, refroidisseur d'air, réchauffeur d'air, humidificateur à vapeur
[5] affichages numériques de la température de l'air, de l'humidité de l'air, de la vitesse de l'air, de la température de l'eau froide, de la puissance
[6] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10
[7] agent réfrigérant R410A, GWP: 2088

Caractéristiques techniques

Régulateur de climatisation API
- 17 entrées universelles, 4 sorties analogiques, 10 sorties de commutation

Ventilateur radial
- puissance absorbée: 0,75kW
- débit de refoulement max.: 39m^3/min
- pression différentielle: 450Pa

Réchauffeur d'air: 6x 250W

Humidificateur à vapeur
- capacité de vapeur: 6kg/h
- puissance absorbée: 4,5kW

Refroidisseur d'eau
- puissance absorbée: 2,1kW
- puissance frigorifique: 6,2kW à 32°C, ΔT=5K
- ventilateur, débit volumétrique d'air: 3500m^3/h

Refroidisseur d'air, puissance: 4,84kW

Agent réfrigérant
- R410A, GWP: 2088, volume de remplissage: 1,3kg, équivalent CO_2: 2,7t

Plages de mesure
- débit: 0...1500L/h (eau)
- température: 7x 0...50°C (air), 2x 0...50°C (eau)
- humidité: 7x 10...90%
- vitesse d'écoulement: 2x 0...20m/s (air)
- puissance: 2x 0...6kW, 2x 0...1,5kW

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 2700x1480x1450mm (installation)
Lxlxh: 1550x1270x2250mm (chambre)
Lxlxh: 1400x600x900mm (refroidisseur d'eau)
Poids total: env. 830kg

Nécessaire pour le fonctionnement

raccord d'eau, drain
PC avec Windows recommandé

Liste de livraison

1 banc d'essai, rempli d'agent réfrigérant
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



ET 450
Installation de climatisation pour véhicule



Contenu didactique/essais

- fonctionnement, structure et maniement d'une installation de climatisation pour véhicule
- identification des dysfonctionnements typiques et réparation d'une installation de climatisation défectueuse
  - simulation de 8 pannes de l'installation
- composants typiques d'une installation frigorifique
- circuit frigorifique comme cycle thermodynamique
  - diagramme log p,h
  - calcul du coefficient de performance de l'installation
  - détermination du rapport de pression du compresseur

Description

- **installation typique de climatisation pour véhicule pour le refroidissement de l'habitacle du véhicule**
- **utilisation de composants issus des techniques automobiles**
- **simulation de huit pannes des installations**

Les installations de climatisation pour véhicule servent à refroidir l'habitacle du véhicule. Elles fonctionnent la plupart de temps selon le principe de circulation d'air et aspirent l'air à refroidir hors de l'habitacle. L'air froid produit dans l'installation de climatisation est transporté dans l'habitacle au moyen d'un ventilateur.

Sur le banc d'essai ET 450, le circuit frigorifique produisant l'air froid comporte un compresseur, un condenseur avec ventilateur et un évaporateur comme refroidisseur d'air avec un ventilateur à trois niveaux et une soupape de détente. Tous les composants de l'installation sont des éléments utilisés couramment dans la technique automobile. Ainsi, le refroidisseur d'air avec ventilateur à trois niveaux est pourvu de bouches de ventilation d'habitacle typiques. Ce qui permet d'être très proche de la pratique.

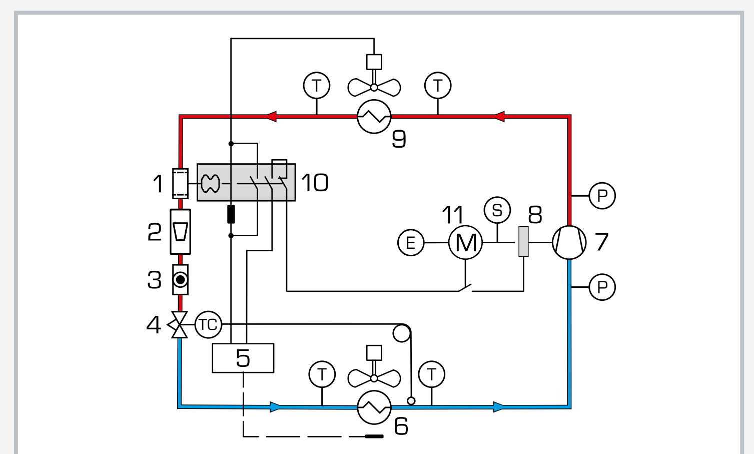
Sur le banc d'essai, on travaille avec une alimentation classique de véhicules de 12VDC. Même la fonction de la serrure de contact a été réalisée pour la mise sous tension de l'installation. Un moteur électrique entraîne le compresseur par le biais d'une courroie de distribution et d'un accouplement magnétique. La vitesse de rotation du moteur et donc du compresseur peut être ajusteée variablement via un convertisseur de fréquence, afin de simuler l'entraînement par le moteur du véhicule.

Des grandeurs caractéristique importantes comme la pression, la température, le débit et la puissance absorbée du compresseur sont affichés. Une particularité réside dans l'intégration de huit pannes activables. L'installation est particulièrement bien adaptée à la formation des mécaniciens automobiles.

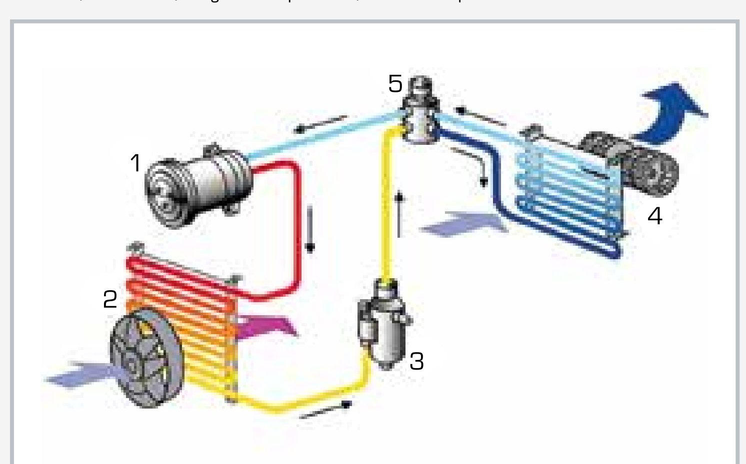
ET 450
Installation de climatisation pour véhicule



1 boîte avec des boutons de pannes, 2 interrupteur d'allumage, 3 refroidisseur d'air avec ventilateur à trois niveaux, 4 armoire de commande, 5 débitmètre, 6 compresseur, 7 condenseur avec ventilateur, 8 moteur électrique



1 filtre/sécheur, 2 débitmètre, 3 voyant, 4 soupape de détente, 5 armoire de commande, 6 évaporateur, 7 compresseur, 8 accouplement magnétique, 9 condenseur, 10 pressostat combiné, 11 moteur; rouge: haute pression, bleu: basse pression



Circuit frigorifique: 1 compresseur, 2 condenseur avec ventilateur, 3 filtre/sécheur, 4 refroidisseur d'air avec ventilateur à trois niveaux, 5 soupape de détente; rouge: haute pression gazeuse, jaune: haute pression liquide; bleu: basse pression liquide, bleu clair: basse pression gazeuse

Spécification

[1] étude d'une installation de climatisation pour véhicule typique pour le refroidissement de l'habitacle
[2] circuit frigorifique à compression avec compresseur, condenseur, filtre/sécheur, soupape de détente et évaporateur
[3] moteur électrique à vitesse de rotation variable de rotation comme entraînement du compresseur
[4] condenseur avec ventilateur
[5] évaporateur comme refroidisseur d'air avec ventilateur à trois niveaux
[6] entraînement du compresseur par le biais d'une courroie de distribution et d'un accouplement magnétique
[7] simulation de 8 pannes par un bouton-poussoir dans une boîte verrouillable
[8] la mise sous tension de l'installation se fait par le biais d'une serrure de contact
[9] affichage des températures, des pressions (agent réfrigérant), du débit (agent réfrigérant), du courant absorbé et de la vitesse de rotation
[10] agent réfrigérant R513A, GWP: 631
[11] alimentation de l'installation de climatisation: 12VDC

Caractéristiques techniques

Moteur électrique
- moteur triphasé
- vitesse de rotation variable via convertisseur de fréquence: 500...3000min^{-1}
- puissance: 4kW à 3000min^{-1}

Compresseur à pistons axiaux
- puissance frigorifique: env. 3kW à 3000min^{-1}

Condenseur: puissance: 6,6kW
Évaporateur: puissance: 5,3kW

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 800g
- équivalent CO_2: 0,5t

Plages de mesure
- température: 4x -100...100°C
- débit: (R513A): 10...95L/h
- pression: -1...9bar / -1...24bar
- vitesse de rotation: 0...3000min^{-1}
- courant: 0...10A

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1210x800x1520mm
Poids: env. 185kg

Liste de livraison

1 banc d'essai rempli d'agent réfrigérant
1 documentation didactique

ET 630
Climatiseur multisplit



Description

■ **climatiseur moderne avec fonction de pompe à chaleur: refroidissement et chauffage**
■ **six modes différents de fonctionnement**

Les climatiseurs multisplit servent à refroidir, déshumidifier et aussi à chauffer les pièces. Ils sont composés d'une unité interne et d'une unité externe.

Un échangeur de chaleur avec ventilateur se trouve dans l'unité interne; en mode de refroidissement, il sert d'évaporateur dans le circuit frigorifique. En mode de chauffage, il sert de condenseur. L'unité externe comprend un compresseur, un second échangeur de chaleur, un élément d'expansion (tube capillaire, par ex.) ainsi qu'un élément permettant de passer du mode de refroidissement au chauffage. En mode de refroidissement, l'agent réfrigérant se trouvant dans l'échangeur de chaleur de l'unité interne permet, en s'évaporant, de retirer de la chaleur à l'air de la pièce. Dans l'unité externe, la condensation de l'agent réfrigérant permet d'émettre la chaleur se trouvant dans l'échangeur de chaleur à l'air ambiant. En mode de chauffage, le transport de chaleur se fait dans le sens inverse.

ET 630 comprend une cloison sur laquelle a été installé (sur la face avant et la face arrière) un climatiseur moderne multisplit. Afin de mieux démontrer le fonctionnement, il y a en outre deux indications de pression de l'agent réfrigérant. Le mode de fonctionnement, l'étage du ventilateur de l'unité interne (mode ventilateur) et la température ambiante souhaitée sont sélectionnés par une commande à distance. En mode automatique, la température ambiante réelle est relevée et un mode de fonctionnement est sélectionné automatiquement pour atteindre la température ambiante indiquée.

Les fonctions suivantes sont aussi ajustées par la commande à distance: le programmateur pour la mise en marche et hors circuit régulière, une durée unique de maintien du fonctionnement en heures (mode sleep; convient au mode éco) et le positionnement horizontal des lamelles sur la bouche de ventilation pour la répartition de l'air (mode swing; fixe ou mobile).

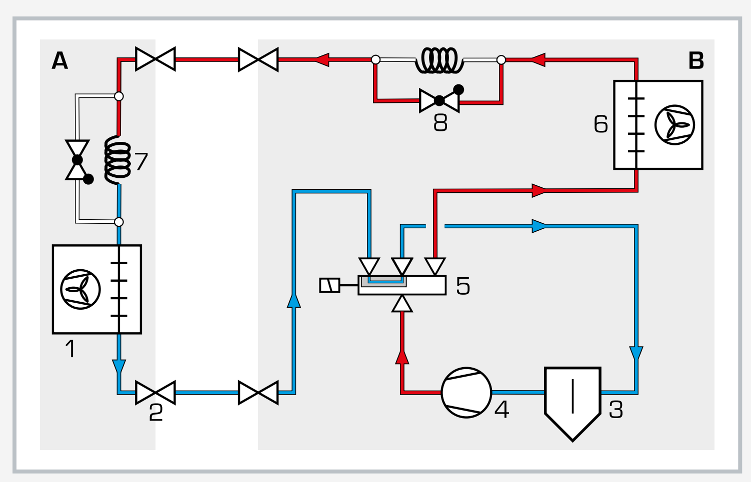
Contenu didactique/essais

■ structure et fonction d'un climatiseur multisplit
■ 6 modes de fonctionnement
  ▸ refroidissement
  ▸ déshumidification (léger refroidissement)
  ▸ chauffage
  ▸ ventilation (uniquement ventilateur de l'unité interne)
  ▸ automatique (mode de fonctionnement selon la température ambiante)
  ▸ test de la fonction de refroidissement
■ 3 autres fonctions
  ▸ "sleep" (mise hors circuit au bout de quelques heures)
  ▸ "swing" (positionnement des lamelles sur la bouche de ventilation)
  ▸ programmateur pour la mise en marche/hors circuit
■ fonctions de la commande à distance

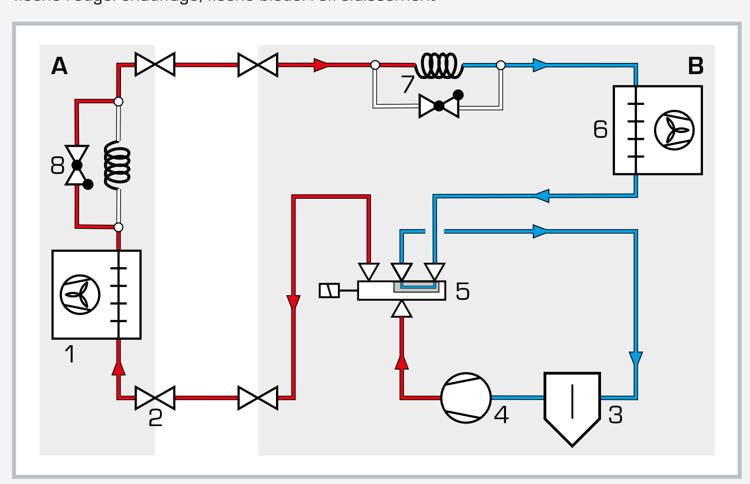
ET 630
Climatiseur multisplit



1 entrée d'air de l'unité interne, 2 sortie d'air de l'unité interne, 3 armoire de commande, 4 manomètre, 5 commande à distance, 6 unité externe, 7 cloison



À titre d'exemple, schéma du processus: processus de refroidissement
unité interne (A) et unité externe (B)
1 échangeur de chaleur de l'unité interne, 2 soupape, 3 séparateur de liquide, 4 compresseur, 5 vanne d'inversion, 6 échangeur de chaleur de l'unité externe, 7 tube capillaire, 8 soupape de retenue;
flèche rouge: chauffage, flèche bleue: refroidissement



À titre d'exemple, schéma du processus: procédé de chauffage
unité interne (A) et unité externe (B)
1 échangeur de chaleur de l'unité interne, 2 soupape, 3 séparateur de liquide, 4 compresseur, 5 vanne d'inversion, 6 échangeur de chaleur de l'unité externe, 7 tube capillaire, 8 soupape de retenue;
flèche rouge: chauffage, flèche bleue: refroidissement

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] structure et fonction d'un climatiseur multisplit courant du marché
[3] illustration du principe split avec paroi
[4] 6 modes différents de fonctionnement: chauffage, refroidissement, déshumidification, ventilation, automatique, test
[5] 3 fonctions supplémentaires ajustables avec la commande à distance: sleep, swing, programmateur
[6] les 2 manomètres de l'agent réfrigérant indiquent la pression basse et la pression haute du compresseur
[7] agent réfrigérant R32, GWP: 675
[8] commande à distance à piles

Caractéristiques techniques

Climatiseur multisplit
■ puissance absorbée: env. 1,2kW à 24/35°C
■ puissance frigorifique: env. 3,5kW à 24/35°C
■ débit volumétrique d'air max. (unité interne): env. 420m^3/h
■ déshumidification (unité interne): env. 0,8L/h
■ programmateur: 24h

Réfrigérant
■ R32
■ GWP: 675
■ volume de remplissage: 700g
■ équivalent CO_2: 0,5t

Plages de mesure
■ pression: 2x -1...40bar

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1000x1000x1500mm
Poids: env. 80kg

Liste de livraison

1 climatiseur multisplit
1 commande à distance
1 notice



Systèmes de ventilation et leurs composants

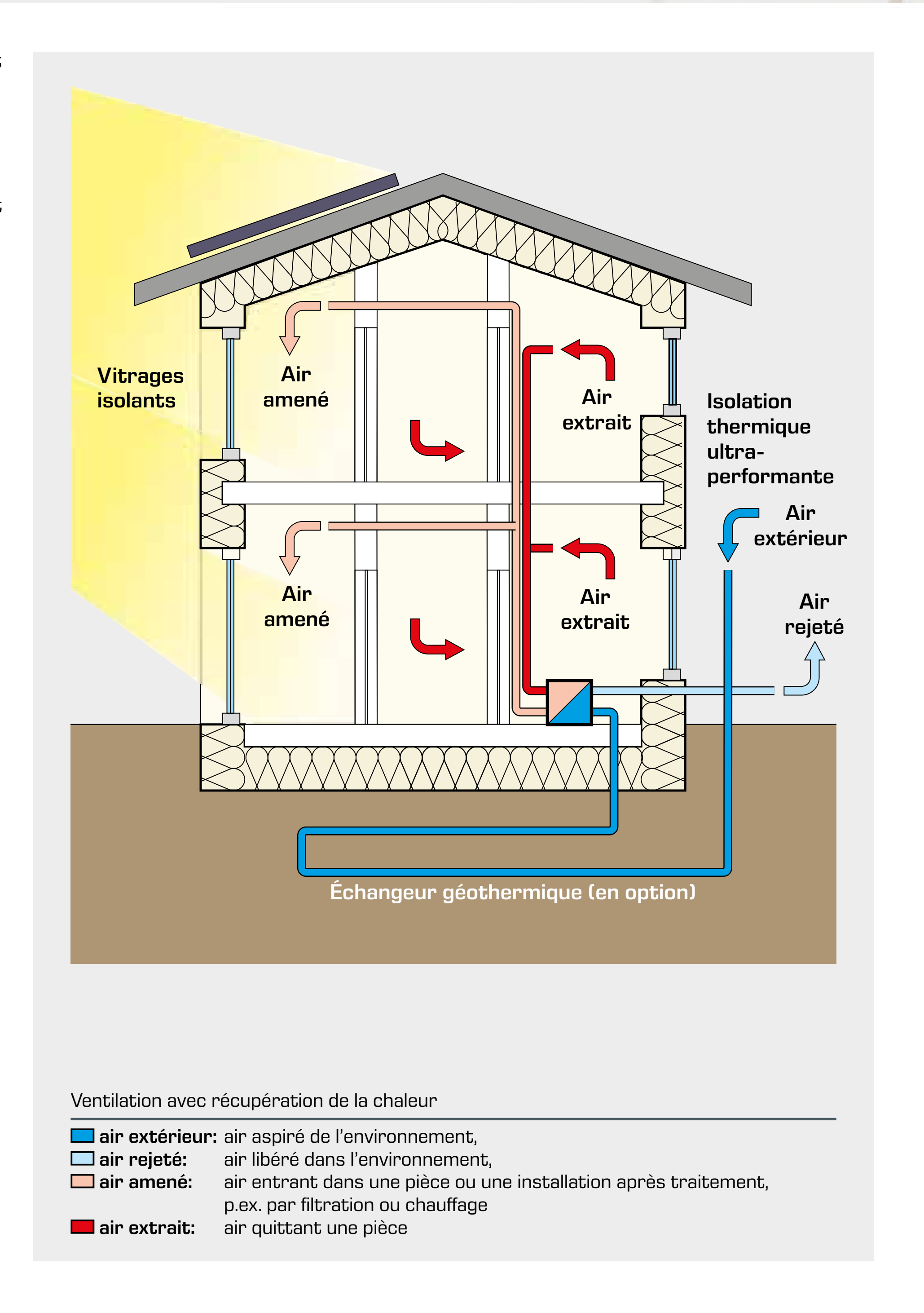
Les systèmes de ventilation, également appelés installations de ventilation et de climatisation, assurent le renouvellement d'air dans les habitations, bureaux et locaux techniques.

Sur les systèmes de ventilation, il s'agit non seulement d'amener et d'évacuer l'air, mais également de tenir compte de l'énergie thermique: les systèmes de ventilation sophistiqués sont en mesure de transférer la chaleur de l'air sortant à l'air entrant, de sorte qu'il n'y ait pratiquement pas d'énergie thermique qui quitte le système.

Il existe essentiellement trois types de systèmes:

1. système d'évacuation de l'air: l'air "usagé" est évacué du bâtiment en direction de l'extérieur (air rejeté)
2. système de ventilation: en plus du système d'évacuation de l'air, un système d'air frais alimente les pièces à vivre en air extérieur
3. différentes techniques visant à réaliser des économies d'énergie de chauffage, au moyen, p.ex., d'une récupération de la chaleur ou d'un échangeur géothermique

Ces systèmes sont regroupés sous l'expression ventilation résidentielle dite "contrôlée". À l'inverse, on appelle ventilation résidentielle non contrôlée la ventilation libre d'un espace habitable au moyen de fenêtres, de rainures ou de puits.



Ventilation avec récupération de la chaleur

- **air extérieur:** air aspiré de l'environnement,
- **air rejeté:** air libéré dans l'environnement,
- **air amené:** air entrant dans une pièce ou une installation après traitement, p.ex. par filtration ou chauffage
- **air extrait:** air quittant une pièce

Les composants et leurs fonctions dans les systèmes de ventilation

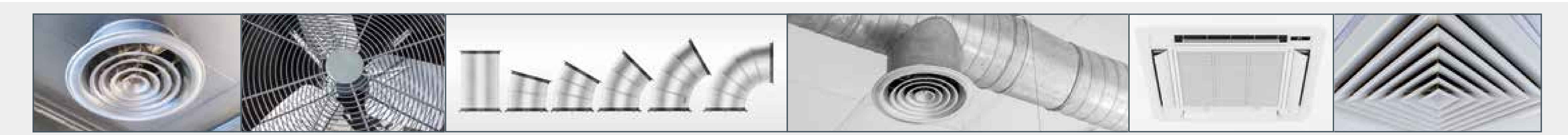
Le concept de ventilation contrôlée des locaux d'habitation (KWL) repose sur l'interaction intelligente de divers composants techniques tels que ventilateurs/soufflantes, échangeurs de chaleur, filtres, appareils de réglage et distribution de l'air. Ces composants font partie des systèmes de ventilation.

On distingue les systèmes de ventilation suivants:

- **systèmes centraux:** un système unique commande la ventilation de l'ensemble de l'espace de vie
- **systèmes décentralisés:** plusieurs systèmes utilisés de manière ciblée dans différentes pièces, p.ex. la cuisine ou la salle de bains

GUNT propose différents appareils d'essai pour l'étude de composants individuels et de systèmes de ventilation complets.

Composant	Contenu didactique	Produit GUNT
Ventilateurs Aspiration et évacuation de l'air extérieur et de l'air rejeté	■ familiarisation avec le comportement en service et les grandeurs caractéristiques des ventilateurs ■ influence des différentes géométries de roues sur la caractéristique du ventilateur et sur le rendement ■ influence de la vitesse de rotation de la roue sur le débit et la pression	HM 280 Essais sur un ventilateur radial HM 282 Essais sur un ventilateur axial HM 210 Grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial HL 710 Systèmes de conduit d'air HL 720 Installation de ventilation
Échangeurs de chaleur Transfert de chaleur de l'air extrait à l'air amené pour la récupération de la chaleur	■ étude du transfert de chaleur convectif ■ influence des différentes surfaces de tube sur la modification de la température de l'air	WL 312 Transfert de chaleur par écoulement d'air
Conduites, coudes de tuyau, coudes, angles, distributeurs Guidage, direction et distribution des écoulements d'air	■ détermination des pertes de charge dues au frottement ■ mesure du débit et de la vitesse de l'air	HM 220 Installation d'essai d'écoulement d'air HM 240 Principes de base de l'écoulement d'air
Vannes papillon, clapets d'arrêt Ajustage des débits volumétriques d'air	■ calcul du débit volumétrique et de la vitesse d'écoulement	HM 220 Installation d'essai d'écoulement d'air HL 710 Systèmes de conduit d'air HL 720 Installation de ventilation
Filtres, distribution et passage de l'air, protection incendie, silencieux	■ familiarisation avec la construction et le fonctionnement ■ mesure des pertes de charge	HL 710 Systèmes de conduit d'air HL 720 Installation de ventilation



HM 280
Essais sur un ventilateur radial



Contenu didactique/essais

- comportement en service et grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial
- enregistrement de la caractéristique du ventilateur (différence de pression comme fonction du débit)
- influence de la vitesse de rotation du rotor sur la pression
- influence de la vitesse de rotation du rotor sur le débit
- influence des différentes formes d'aube mobile sur la caractéristique du ventilateur et sur le rendement
- détermination de la puissance hydraulique fournie et du rendement

Description

- **deux rotors remplaçables**
- **tuyau transparent de refoulement et d'aspiration**
- **logiciel GUNT pour l'acquisition des données, la visualisation et la commande**
- **élément des machines à fluide GUNT-Labline**

Les ventilateurs radiaux sont utilisés pour l'acheminement de gaz lorsque les différentiels de pression ne sont pas trop importants. Le gazest aspiré axialement par rapport à l'axe d'entraînement du ventilateur radial, et dévié de 90° puis expulsé radialement sous l'effet de la rotation du rotor.

L'appareil d'essai permet de réaliser des essais de base afin d'étudier le comportement en service et de déterminer les principales grandeurs caractéristiques des ventilateurs radiaux.

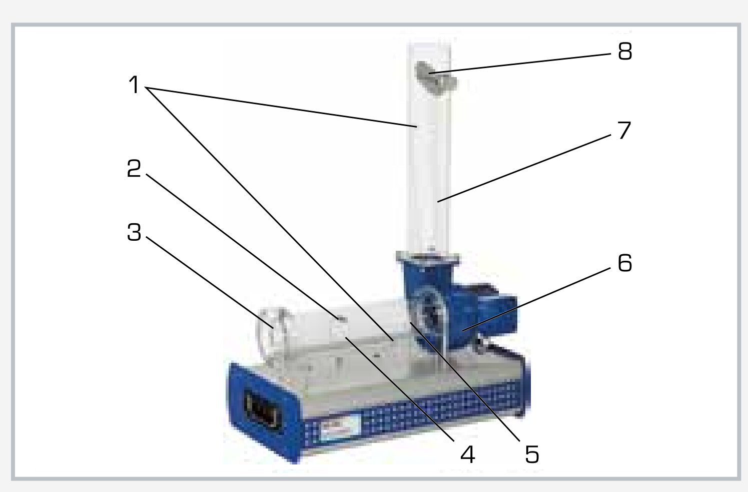
Le HM 280 dispose d'un ventilateur radial à vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence, d'un tuyau d'aspiration et d'un tuyau de refoulement. Le tuyau d'aspiration transparent est muni de tôles de guidage de l'écoulement et d'un redresseur d'écoulement servant à calmer l'air. Ce qui permet de réaliser des mesures précises même en cas d'étranglement important. L'écoulement d'air est ajusté par une vanne papillon au bout du tuyau de refoulement.

Afin de démontrer l'influence de différentes formes d'aube mobile, deux rotors sont intégrés au contenu de la livraison: un rotor avec des aubes incurvées à l'avant et un rotor avec des aubes incurvées à l'arrière. Les rotors sont faciles à remplacer.

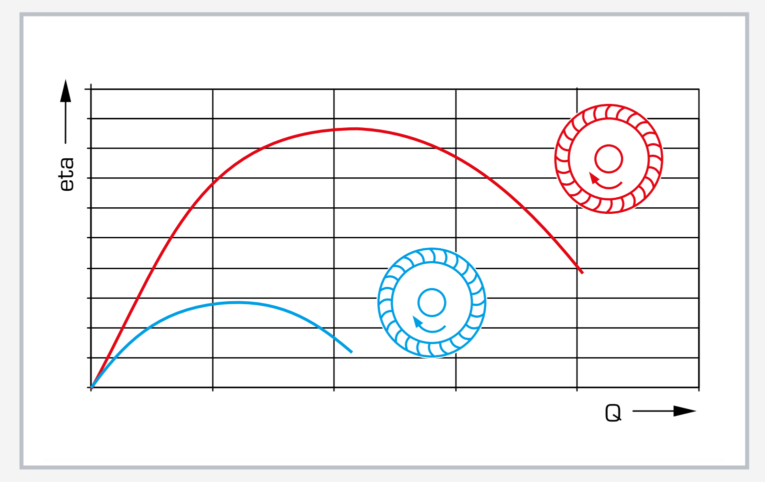
L'appareil d'essai est équipé de capteurs de pression et de température. Le débit est déterminé par une mesure de la pression différentielle au niveau de la buse d'entrée. La technique de mesure basée sur un microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

L'association du logiciel GUNT et du microprocesseur présente tous les avantages offerts par la réalisation avec la commande et l'évaluation d'essais assistées par ordinateur.

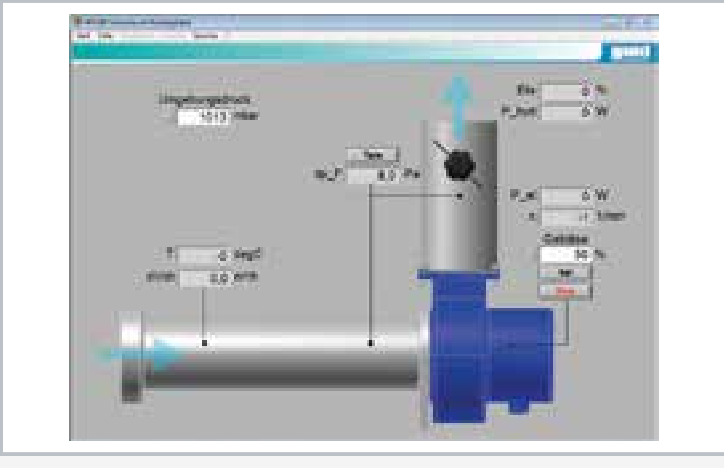
HM 280
Essais sur un ventilateur radial



1 points de mesure de la pression, 2 point de mesure de la température, 3 buse d'entrée avec point de mesure de la pression statique, 4 tuyau d'aspiration, 5 tôles de guidage, 6 ventilateur radial avec moteur d'entraînement, 7 tuyau de refoulement, 8 vanne papillon



Rendements comparatifs; en rouge: rotor avec aubes incurvées à l'avant, en bleu: rotor avec aubes incurvées à l'arrière; η rendement, Q débit


Surface utilisateur du logiciel puissant

Spécification

[1] fonction et comportement en service d'un ventilateur radial
[2] ventilateur radial avec moteur triphasé
[3] vitesse de rotation variable via un convertisseur de fréquence
[4] tuyau d'aspiration et de refoulement transparent
[5] vanne papillon pour l'ajustage de l'écoulement d'air dans le tuyau de refoulement
[6] rotors remplaçables: 1 rotor avec des aubes incurvées à l'avant et 1 rotor avec des aubes incurvées à l'arrière
[7] détermination du débit à travers la buse d'entrée
[8] affichage de la pression différentielle, du débit, de la vitesse de rotation, de la puissance électrique absorbée et de la puissance hydraulique fournie, de la température et du rendement
[9] l'instrumentation intégrée à microprocesseur évite le câblage supplémentaire
[10] affichage et l'évaluation des valeurs mesurées ainsi que la commande d'appareil via logiciel
[11] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Tuyau d'aspiration
- diamètre intérieur: 90mm
- longueur: 430mm

Tuyau de refoulement
- diamètre intérieur: 100mm
- longueur: 530mm

Ventilateur radial
- puissance absorbée: 110W
- vitesse de rotation nominale: 2880min^{-1}
- débit volumétrique max.: 480m^3/h
- différence de pression max.: 300Pa

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...1800Pa
- débit: 0...1000m^3/h
- température: 0...100°C
- vitesse de rotation: 0...3300min^{-1}
- el. puissance absorbée: 0...250W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x340x940mm
Poids: env. 20kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
2 roues
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

HM 282
Essais sur un ventilateur axial



Description

- **modèle illustratif d'un ventilateur axial**
- **tuyau transparent de refoulement et d'aspiration**
- **logiciel GUNT pour l'acquisition des données, la visualisation et la commande**
- **élément des machines à fluide GUNT-Labline**

Les ventilateurs axiaux sont utilisés pour l'acheminement de gaz. Le gaz à transporter est aspiré axialement par rapport à l'axe d'entraînement sous l'effet de la rotation de la roue. Le gaz traverse la roue puis est expulsé axialement au-delà de la roue.

L'appareil d'essai permet de réaliser des essais de base afin d'étudier le comportement en service et de déterminer les principales grandeurs caractéristiques des ventilateurs axiaux.

Le HM 282 dispose d'un ventilateur axial à vitesse de rotation variable piloté grâce à un contrôleur intégré, d'un tuyau d'aspiration et d'un tuyau de refoulement. Les tuyaux de refoulement et d'aspiration transparents disposent de tôles de guidage de l'écoulement.

Un redresseur d'écoulement servant à calmer l'air se trouve dans le tuyau d'aspiration. Ce qui permet de réaliser des mesures précises même en cas d'étranglement important. L'écoulement d'air est ajusté par une vanne papillon au bout du tuyau de refoulement.

L'appareil d'essai est équipé de capteurs de pression et de température. Le débit est déterminé par une mesure de la pression différentielle au niveau de la buse d'entrée. La technique de mesure basée sur un microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

L'association du logiciel GUNT et du microprocesseur présente tous les avantages offerts par la réalisation avec la commande et l'évaluation d'essais assistées par ordinateur.

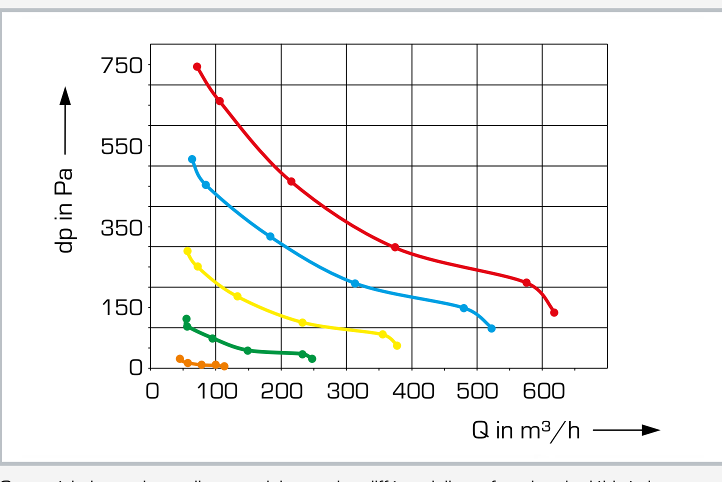
Contenu didactique/essais

- comportement en service et grandeurs caractéristiques d'un ventilateur axial
- enregistrement de la caractéristique du ventilateur (pression différentielle comme fonction du débit)
- influence de la vitesse de rotation de la roue sur la pression
- influence de la vitesse de rotation de la roue sur le débit
- décrochage
- détermination de la puissance hydraulique fournie et du rendement

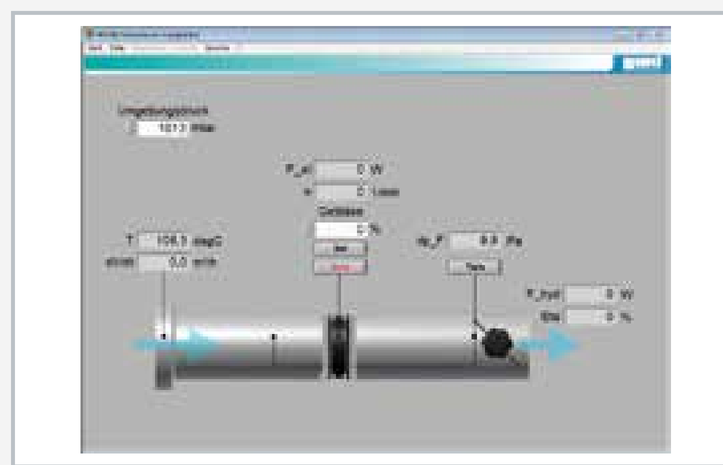
HM 282
Essais sur un ventilateur axial



1 tôles de guidage de l'écoulement, 2 point de mesure de la température, 3 buse d'entrée au niveau du tuyau d'aspiration, 4 point de mesure de la pression (pour la détermination du débit), 5 redresseur d'écoulement, 6 points de mesure de la pression, 7 tuyau de refoulement, 8 vanne papillon, 9 ventilateur axial



Caractéristiques du ventilateur axial: pression différentielle en fonction du débit à des vitesses de rotation différentes; dp pression différentielle, Q débit


Surface utilisateur du logiciel puissant

Spécification

[1] fonction et comportement en service d'un ventilateur axial
[2] ventilateur axial avec moteur d'entraînement à commutation électronique
[3] vitesse de rotation variable via un contrôleur intégré
[4] tuyau d'aspiration et de refoulement transparent
[5] vanne papillon pour l'ajustage de l'écoulement d'air dans le tuyau de refoulement
[6] détermination du débit à travers la buse d'entrée
[7] affichage de la pression différentielle, du débit, de la vitesse de rotation, de la puissance électrique absorbée et de la puissance hydraulique fournie, de la température et du rendement
[8] technique de mesure basée sur un microprocesseur
[9] affichage et l'évaluation des valeurs mesurées ainsi que la commande d'appareil via logiciel
[10] logiciel GUNT avec fonctions de commande et acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Tuyau d'aspiration
- diamètre intérieur: 110mm
- longueur: 275mm

Tuyau de refoulement
- diamètre intérieur: 110mm
- longueur: 310mm

Ventilateur axial
- puissance absorbée: 90W
- vitesse de rotation nominale: 9500min^{-1}
- débit volumétrique max.: env. 600m^3/h
- différence de pression max.: env. 700Pa

Plages de mesure
- pression différentielle: 0...1800Pa
- débit: 0...1000m^3/h
- température: 0...100°C
- vitesse de rotation: 0...9999min^{-1}
- puissance absorbée: 0...500W

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 670x340x370mm
Poids: env. 15kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique



HM 210
Grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial



Contenu didactique/essais

- montage et principe d'un ventilateur radial
- enregistrement des courbes caractéristiques du ventilateur et de l'installation
- méthodes de mesure du débit selon la méthode de la pression différentielle à l'aide de:
  - diaphragme à iris
  - tube de Venturi
  - comparaison des deux méthodes de mesure
- familiarisation avec des différents appareils de mesure de la pression différentielle
- détermination du rendement

Description

- **étude d'un ventilateur radial et détermination des grandeurs caractéristiques**
- **détermination du débit à l'aide d'un diaphragme à iris ou d'une tube de Venturi**
- **mesure de la pression différentielle avec une précision de mesure variable à l'aide de différents manomètres à liquide**

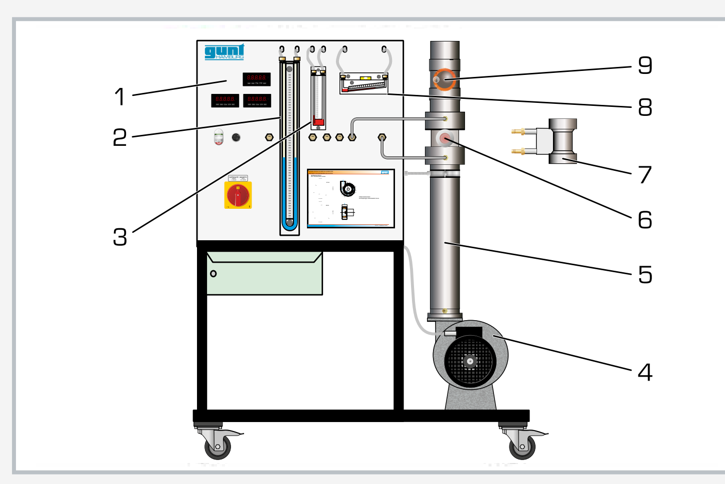
Les ventilateurs sont les composants centraux des installations de ventilation et sont utilisés pour la ventilation, le refroidissement, le séchage ou le transport pneumatique. Les grandeurs caractéristiques d'un ventilateur sont d'une grande importance pour une conception optimale de ces installations.
Le HM 210 permet d'étudier un ventilateur radial. Ce banc d'essai permet de déterminer à titre expérimental la dépendance entre la hauteur de refoulement et le débit ainsi que l'influence qu'exerce la vitesse de rotation du ventilateur sur la hauteur de refoulement et le débit.

Le ventilateur radial aspire axialement l'air ambiant. La roue, qui tourne à une vitesse de rotation élevée, accélère la sortie de l'air vers l'extérieur. La vitesse élevée à la sortie de la roue est convertie partiellement en énergie de pression dans la volute. La section de tuyau verticale se raccorde à la volute. Dans la section de tuyau, une tube de Venturi détermine le débit et une vanne papillon ajuste le débit. Il est possible d'utiliser un diaphragme à iris, qui convient particulièrement à l'ajustage et à la détermination simultanés du débit grâce à sa section variable. Les pressions différentielles utilisées pour calculer le débit sont relevées à l'aide de manomètres à liquide.
La hauteur de refoulement du ventilateur radial est également mesurée à l'aide des manomètres à liquide. Un manomètre à tube en U, un manomètre à tube et un manomètre à tube incliné présentant des plages de mesure échelonnées sont disponibles.

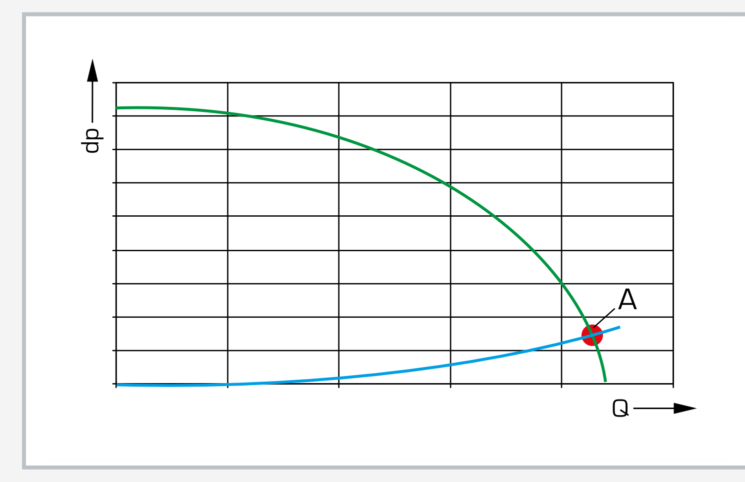
La vitesse de rotation du ventilateur est ajustée à l'aide d'un convertisseur de fréquence. La vitesse de rotation, le couple et la puissance électrique sont affichés sous forme numérique. Des considérations énergétiques sont possibles et le rendement du ventilateur peut ainsi être déterminé.

La caractéristique de l'installation est déterminée en enregistrant les paramètres caractéristiques en maintenant l'ajustage de l'étranglement constant mais avec une vitesse de rotation variable. L'interaction entre le ventilateur et l'installation au point de fonctionnement, le dimensionnement de l'installation, est étudiée.

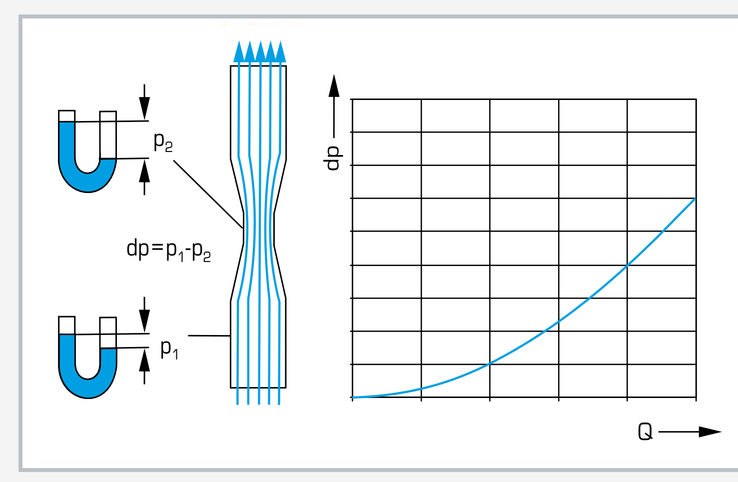
HM 210
Grandeurs caractéristiques d'un ventilateur radial



1 coffret de commande avec éléments d'affichage, 2 manomètre à tube en U, 3 manomètre à tube, 4 ventilateur radial avec orifice d'aspiration, 5 section de tuyau, 6 diaphragme à iris, 7 tube de Venturi, 8 manomètre à tube incliné, 9 vanne papillon



Vert: courbe caractéristique du ventilateur, bleu: courbe caractéristique de l'installation, A, rouge: point de fonctionnement de l'installation



Écoulement de l'air dans la tube de Venturi; p_1, p_2 points de mesure pour les pressions; diagramme: pression différentielle dp en fonction du débit Q

Spécification

[1] ventilateur radial utilisé comme turbomachine
[2] diaphragme à iris ou tube de Venturi pour déterminer le débit à partir de la pression différentielle
[3] ajustage de la vitesse de rotation à l'aide d'un convertisseur de fréquence
[4] mesure de la pression différentielle à l'aide du manomètre à tube en U, du manomètre à tube et du manomètre à tube incliné
[5] écoulement d'air dans la section de tuyau ajustable à l'aide d'une vanne papillon ou un diaphragme à iris
[6] affichage de la vitesse de rotation, du couple et de la puissance électrique sous forme numérique

Caractéristiques techniques

Ventilateur radial
- puissance absorbée max.: 370W
- pression différentielle max.: 860Pa
- débit volumétrique max.: 4m^3/min
- vitesse nominale de rotation: 3000min^{-1}
- plage de vitesses de rotation: 1000...3000min^{-1}

Diaphragme à iris ajustable, 6 niveaux
- Ø 40...70mm
- k=1,8....7,8

Tube de Venturi
- diamètre de l'entrée d'air: 100mm
- diamètre d'étranglement du tube: 80mm
- k=7,32

Plages de mesure
- pression différentielle:
  - 30...0...30mbar (manomètre à tube en U)
  - 0...15mbar (manomètre à tube)
  - 0...50Pa (manomètre à tube incliné)

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1300x720x1640mm
Poids: env. 123kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 tube de Venturi
1 diaphragme à iris
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



HM 220
Installation d’essai d’écoulement d’air

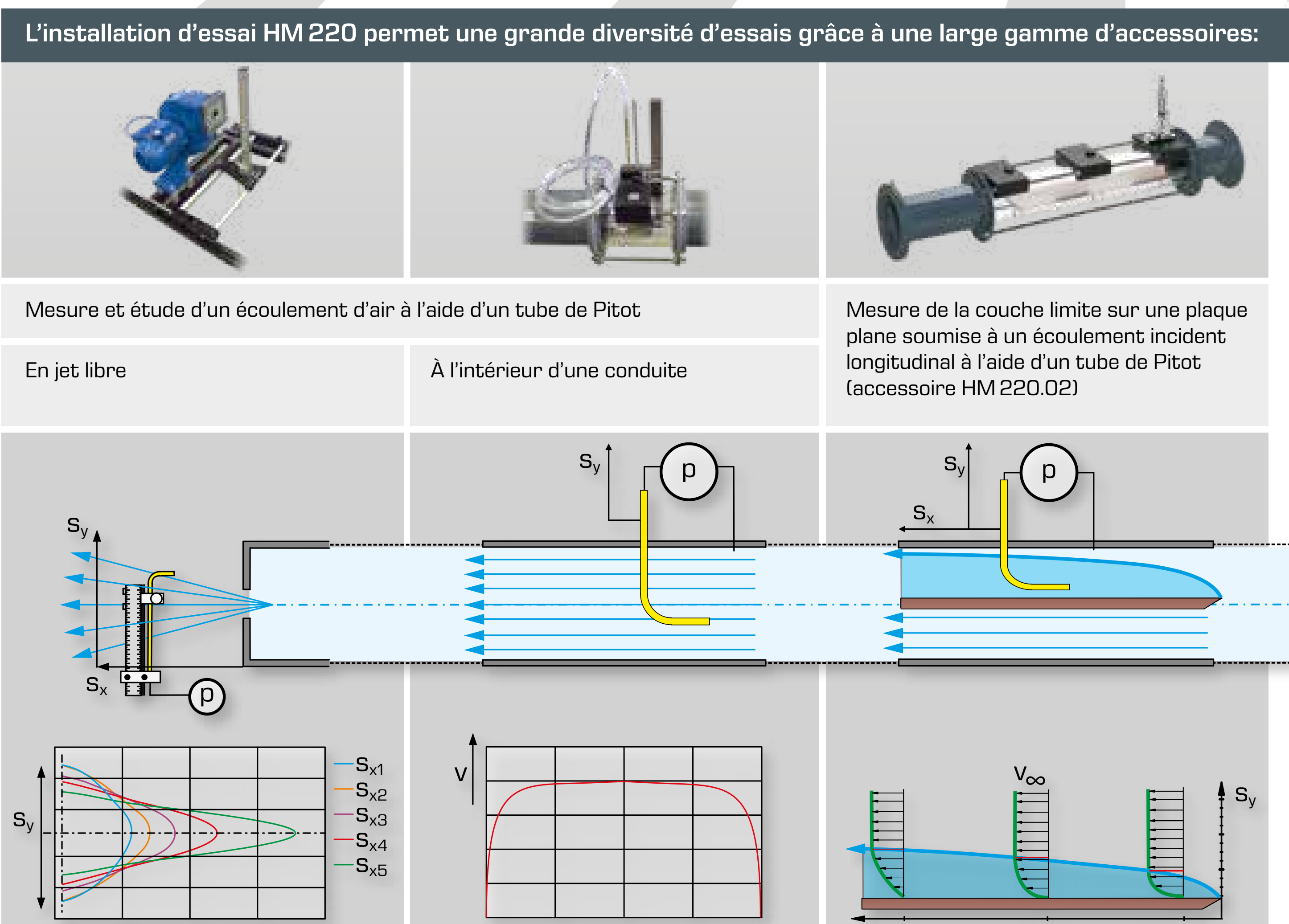
Dans la pratique, pour être capable de dimensionner les turbomachines ou les conduites, il est important de connaître l’évolution de l’écoulement et la distribution de la pression et de la vitesse. L’installation d’essai HM 220 associé à ces nombreux accessoires offre la possibilité de réaliser un grand nombre d’études relatives à la mécanique des fluides.

Les essais très parlants facilitent et approfondissent la compréhension des lois générales des écoulements stationnaires. Ils permettent d’acquérir des connaissances sur la détermination de l’évolution de l’écoulement, de la distribution de la pression et les profils de vitesse.



- utilisation de différents éléments de tuyauterie
- ajustage de l’écoulement d’air à l’aide d’un un convertisseur de fréquence
- jusqu’à 20 points de mesure de la pression
- calcul du débit volumétrique et de la vitesse d’écoulement à partir des résultats de mesure
- représentation de la caractéristique de l’installation
- enregistrement des différents profils de vitesse dans le jet libre ainsi que dans la section de conduite
- représentation d’augmentation de la perte de charge sous l’effet du frottement du tuyau avec différents éléments de tuyauterie
- entrée avec de faibles pertes et la longueur de la section de tuyau permettent une formation optimale de l’écoulement d’air

L’installation d’essai HM 220 permet une grande diversité d’essais grâce à une large gamme d’accessoires:



Mesure et étude d’un écoulement d’air à l’aide d’un tube de Pitot

En jet libre

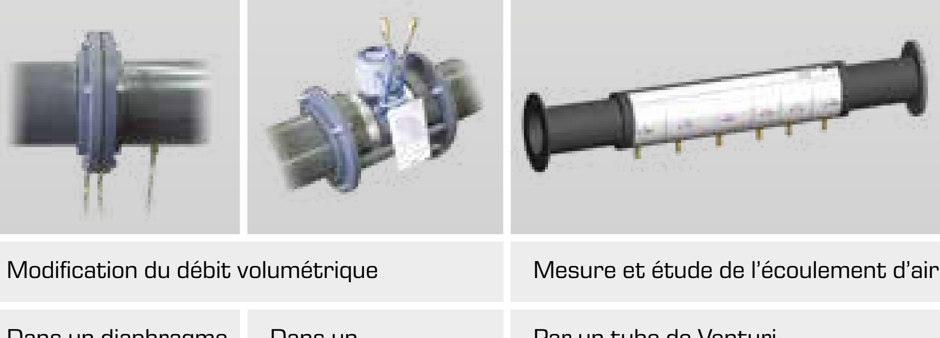
À l’intérieur d’une conduite

Mesure de la couche limite sur une plaque plane soumise à un écoulement incident longitudinal à l’aide d’un tube de Pitot (accessoire HM 220.02)

Profil de vitesse **v** dans le jet d’air de sortie

Profil de vitesse v le long de la section de tuyau $\mathbf{s_y}$

Distribution de la vitesse (en vert) et épaisseur de la couche limite (en bleu)







Modification du débit volumétrique

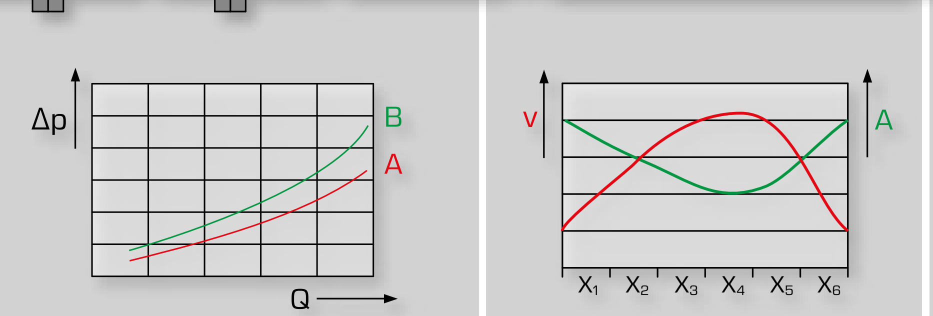
Dans un diaphragme ou une buse

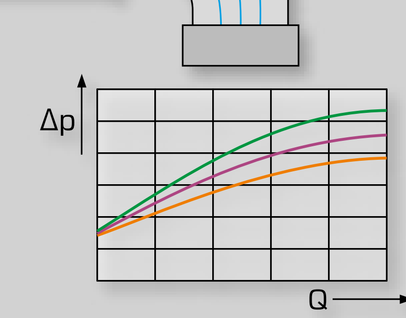
Dans un diaphragme à iris

Mesure et étude de l’écoulement d’air

Par un tube de Venturi (accessoire HM 220.01)

Dans différents raccords de tuyauterie





Comparaison de la modification du débit volumétrique **Q** au moyen d’un diaphragme **A** ou d’une buse **B**

Profil de vitesse (en rouge) le long du rétrécissement de section (en vert)

Études des pertes par frottement du tuyau: coude de tuyau (en vert), coude à segments (en mauve), angle de tuyau (en orange)



HM 220
Installation d'essai d'écoulement d'air



Description

- **la palette très complète d'accessoires permet de réaliser une grande variété d'essais**
- **étude des évolutions de l'écoulement et de la pression**
- **comparaison de différentes façons de mesurer le débit volumétrique**
- **représentation de caractéristiques d'installations et de profils de vitesse**

La mécanique des fluides étudie le comportement physique des fluides. Un sous-domaine important de la mécanique des fluides est l'observation de l'écoulement d'air dans le domaine incompressible en vue de déterminer la distribution de la pression et le profil de vitesse d'un écoulement. Dans la pratique, les enseignements tirés de ces études sont requises pour l'élaboration et le dimensionnement des turbomachines.

Le HM 220 et sa gamme très complète d'accessoires permet la réalisation d'une grande diversité d'essais sur l'écoulement incompressible stationnaire. Avec le tube de Pitot externe, on réalise des mesures de jet libre, et avec le tube de Pitot intégré, on étudie l'écoulement d'air à l'intérieur de la section de tuyau. Une entrée avec de faibles pertes et la longueur de la section de tuyau permettent la formation optimale de l'écoulement d'air. L'écoulement d'air est étudié au choix par l'intermédiaire d'une buse ou d'une plaque à orifice à mettre en place. Un diaphragme à iris permet de faire varier le diamètre de l'écoulement d'air. Les pertes de charge du tuyau peuvent être étudiées sur différents raccords de tuyauterie. Un total de 20 points de mesure de la pression permet de déterminer les rapports de pression le long de la section de mesure. La distribution de la pression et la vitesse d'écoulement sont déterminées à partir des pressions relevées sur le manomètre à tubes.

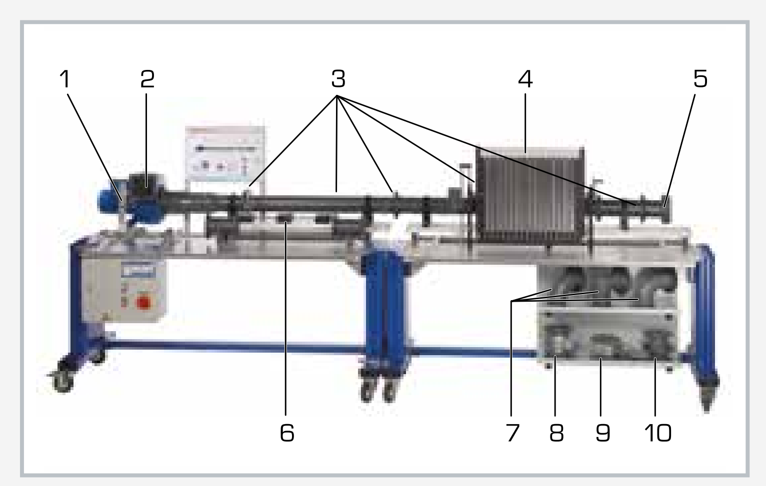
En plus des accessoires très complets qui sont fournis, il est possible de commander en option le tube de Venturi HM 220.01 pour une vérification pratique de l'équation de continuité et de la conservation de l'énergie lors d'une modification de section d'un jet d'air.

Un autre accessoire disponible en option, HM 220.02 permet la réalisation de mesures de la couche limite sur une surface plane soumise à un écoulement incident longitudinal. Les résultats des essais permettent de déterminer les distributions de la vitesse à l'intérieur de la couche limite ainsi que la représentation de l'épaisseur de la couche limite.

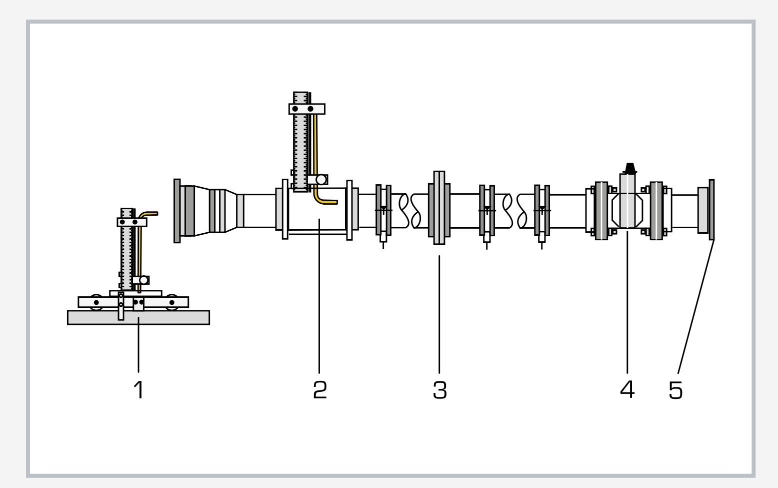
Contenu didactique/essais

- essais dans le domaine des écoulements incompressibles stationnaires au moyen de différents objets de mesure:
  - calcul du débit volumétrique et de la vitesse d'écoulement
  - enregistrement des différents profils de vitesse dans le jet libre ainsi que dans la section de tuyau
  - représentation de la perte de charge sur la caractéristique de l'installation
  - représentation de la perte de charge avec différents éléments de tuyauterie

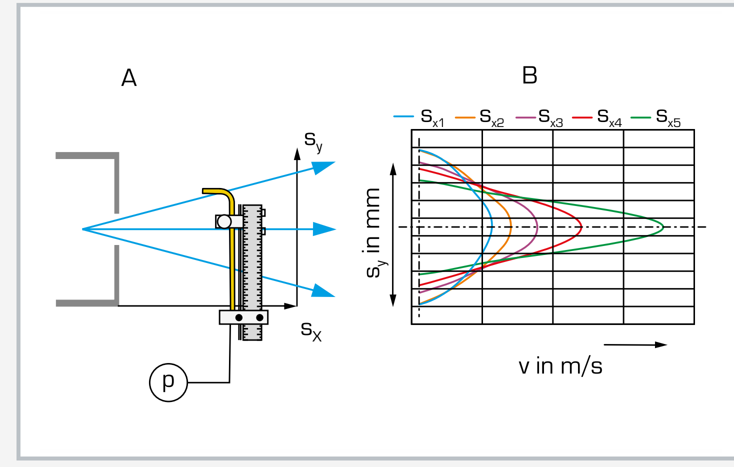
HM 220
Installation d'essai d'écoulement d'air



1 tube de Pitot (mesure de jet libre), 2 ventilateur radial, 3 positions possibles pour objets de mesure (6, 8-10), 4 manomètre à tubes, 5 entrée, 6 accessoire HM 220.02, 7 raccords de tuyauterie, 8 diaphragme à iris, 9 tube de Pitot (intérieur), 10 buse et plaque à orifice



1 tube de Pitot (mesure de jet libre), 2 tube de Pitot (à l'intérieur de la section de tuyau), 3 buse et plaque à orifice, 4 diaphragme à iris, 5 raccordement des raccords de tuyauterie



Profil de vitesse de jet libre
A principe de mesure avec représentation schématique de l'évolution de l'écoulement, B profil de vitesse dans le dans le jet d'air de sortie; v vitesse d'écoulement, s_x distance verticale, s_y distance horizontale du tube de Pitot

Spécification

[1] essais dans le domaine des écoulements stationnaires incompressibles
[2] section de mesure horizontale
[3] ventilateur radial ajustable en continu à l'aide d'un convertisseur de fréquence
[4] tube de Pitot dans le jet libre, déplaçable en trois dimensions, réglable en hauteur
[5] tube de Pitot à l'intérieur de la section de tuyau, déplaçable verticalement
[6] différents objets de mesure: plaque à orifice, buse, diaphragme à iris, raccords de tuyauterie
[7] manomètre à 16 tubes pour l'affichage des pressions

Caractéristiques techniques

Tube de Pitot dans le jet libre, déplaçable en trois dimensions
- horizontalement: ±140mm
- verticalement: -80...120mm
- Ø intérieur: 2mm

Tube de Pitot intérieur, déplaçable
- verticalement: ±40mm
- Ø intérieur: 1,1mm

20 points de mesure de la pression

Ventilateur radial
- puissance max. du moteur: 550W
- débit de refoulement max.: 22m^3/min
- pression différentielle max.: 0,73kPa

Manomètre à 16 tubes
- résolution: x2, x5 ou x10
- résolution max.: 1Pa

Diaphragme à iris: Ø 40...75mm
Plaque à orifice/buse: Ø 50mm
3 raccords de tuyauterie

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase
120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 3270x790x1130mm
Poids: env. 232kg

Liste de livraison

1 installation d'essai
1 jeu d'objets pour la mesure
1 manomètre à tubes
1 jeu de flexibles
1 jeu d'outils
1 documentation didactique

HM 240
Principes de base de l’écoulement d’air

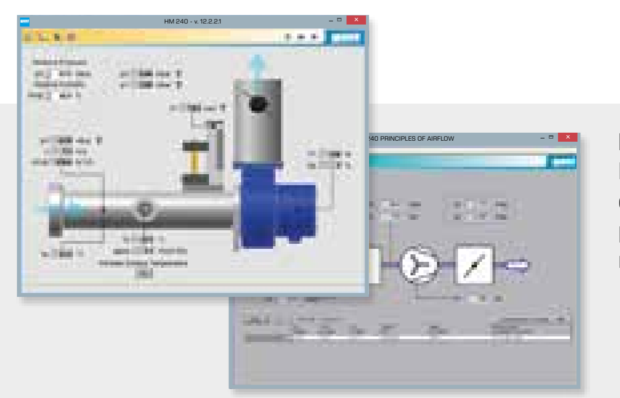
Avec l’appareil de base HM 240, il est possible d’effectuer des études sur un ventilateur radial. En combinaison avec les accessoires, il est possible de réaliser un grand nombre essais concernant le sujet du débit d’air.

Sur un trajet d’essai horizontal, le ventilateur radial produit une vitesse d’écoulement d’environ 9 m/s. La tuyère d’entrée garantit un écoulement pauvre en turbulences et ainsi une répartition homogène de la vitesse. Grâce à un clapet installé dans la bouche de ventilation, le ventilateur peut être étranglé afin d’enregistrer des courbes caractéristiques. L’appareil est équipé de capteurs destinés à enregistrer la température et la pression. Le débit est déterminé au moyen d’une tuyère d’entrée et de la mesure de la pression.

- **système modulaire destiné à réaliser des essais avec des débits d’air**
- **un grand nombre d’essais de la courbe caractéristique du ventilateur à la transmission de chaleur**
- **acquisition de données et visualisation**

Module interface

- numérisation des données de mesure
- accordement au PC via USB



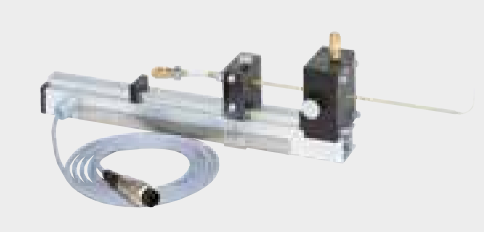
Le logiciel GUNT montre les valeurs mesurées sur PC d’une manière claire et permet de procéder à une évaluation aisée. Différentes fonctions permettent de procéder à un enregistrement graphique des valeurs mesurées et à la sauvegarde des résultats.

L’appareil de base et les accessoires permettent de réaliser un grand nombre d’essais en termes d’apprentissage en mécanique des fluides et de thermodynamique



HM 240.02 Wattmètre

- mesure de la puissance électrique de la soufflante
- détermination du rendement de la soufflante



HM 240.03 Sonde de pression totale électronique

- tube de Pitot mobile
- enregistrement électronique de la position
- transducteur de pression dans l’appareil de base
- analyse de champs d’écoulement et enregistrement de profils d’écoulement



HM 240.04 Distribution de la pression autour d'un cylindre

Le cylindre pivotant autour de son axe et équipé d’un orifice de mesure de la pression est placé à la perpendiculaire de la direction d’écoulement. La position d’angle est mesurée. Le transducteur de pression se trouve dans l’appareil de base. La rotation du cylindre permet de mesurer la distribution complète de la pression sur le cylindre contourné par l’écoulement.



HM 240.05 Pertes de charge dans des éléments de tuyauterie

Il se compose d’une section de tuyau lisse avec rallonge, de deux entrées différentes et de deux changements de direction de 90° distincts. Tous ces éléments sont pourvus de raccords de mesure de la pression permettant de mesurer les pressions le long de la section de tuyau. À partir des résultats on peut ensuite déduire les pertes par frottement des différents composants.



HM 240.06 Transfert de chaleur autour d'un cylindre placé à la perpendiculaire d'un écoulement

L’accessoire est composé d’une éprouvette cylindrique en cuivre et d’un poêle électrique pour l’éprouvette. L’éprouvette est équipée d’un point de mesure de la température. Elle est chauffée avant l’essai jusqu’à une température définie avant d’être positionnée dans la section d’écoulement. Le processus de refroidissement se fait par convection forcée dans l’écoulement d’air. La vitesse de refroidissement permet de déduire le transfert de chaleur convectif sur l’éprouvette.

HM 240
Principes de base de l'écoulement d'air



Description

- **nombreux accessoires pour essais de base avec un écoulement d'air**
- **enregistrement de la caractéristique du ventilateur**

HM 240 fait partie d'une série permettant de réaliser des essais de base sur l'écoulement d'air. Le logiciel pour l'acquisition des données et la visualisation rend les essais particulièrement parlants et assure une réalisation rapide des essais et des résultats fiables.

L'appareil d'essai comprend un ventilateur radial permettant de générer des vitesses d'écoulement pouvant atteindre 9m/s. Un contour d'entrée du côté d'aspiration protège l'écoulement des turbulences et assure ainsi une distribution homogène de la vitesse sur la section de mesure. Une vanne papillon au bout du tuyau de refoulement permet d'ajuster l'écoulement d'air pour l'enregistrement de la caractéristique du ventilateur. Le rendement du ventilateur est déterminé en association avec le wattmètre HM 240.02.

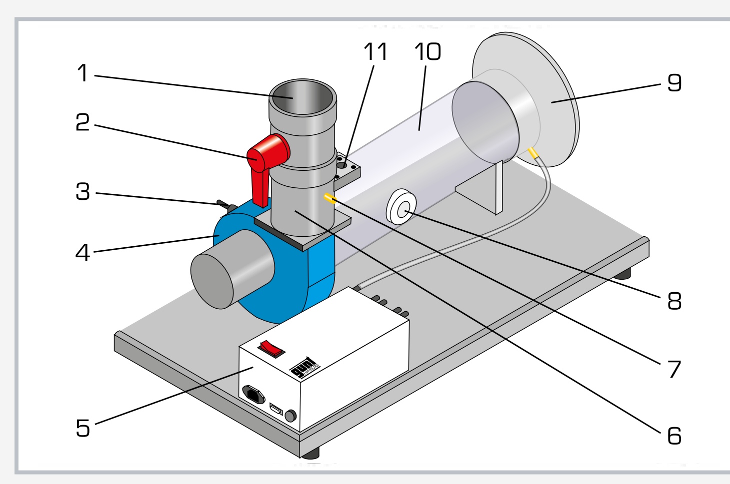
Il est possible de fixer d'autres accessoires dans le tuyau d'aspiration pour la réalisation d'essais supplémentaires: Sonde de pression totale électronique HM 240.03, Distribution de la pression sur le cylindre HM 240.04 et Transfert de chaleur convectif sur un cylindre placé à la perpendiculaire d'un écoulement HM 240.06. Pour étudier les pertes par frottement, on remplace le tuyau d'aspiration par des éléments de tuyauterie de HM 240.05 (tuyaux droits, coude de tuyau et angle de tuyau).

Les points de mesure se trouvant le long de la section de mesure permettent de réaliser des mesures de la température, de la pression et de la vitesse. Le débit est déterminé à l'aide d'un contour d'entrée et d'une mesure de la pression. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

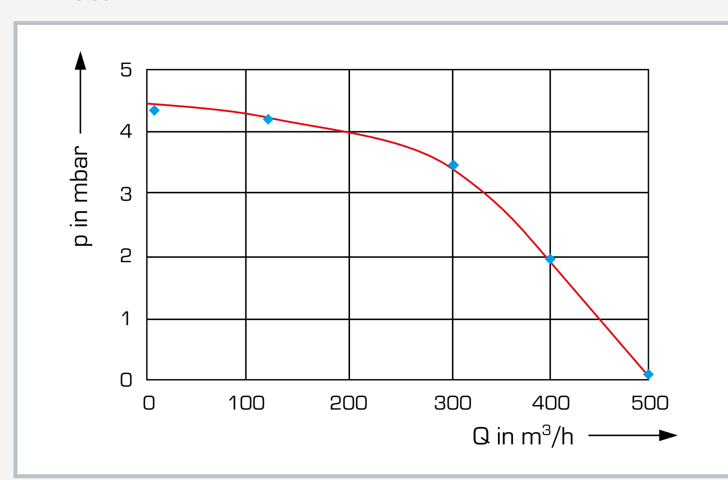
Contenu didactique/essais

- enregistrement de la caractéristique du ventilateur
- avec le wattmètre HM 240.02
  - détermination du rendement du ventilateur
- avec les accessoires adéquats
  - distribution de la vitesse dans le tuyau
  - distribution de la vitesse après un cylindre placé à la perpendiculaire d'un écoulement
  - distribution de la pression autour d'un cylindre placé à la perpendiculaire de l'écoulement
  - pertes par frottement dans les tuyaux, le coude de tuyau et l'angle de tuyau
  - enregistrement de la courbe de refroidissement d'un cylindre en cuivre soumis à un écoulement
  - détermination du coefficient de transfert de chaleur à partir de la courbe de refroidissement

HM 240
Principes de base de l'écoulement d'air



1 sortie d'air, 2 vanne papillon pour l'ajustage de l'écoulement d'air, 3 point de mesure de la température, 4 ventilateur, 5 coffret de distribution avec transducteur de pression, 6 tuyau de refoulement, 7 point de mesure de la pression, 8 raccord pour accessoires HM 240.04 et HM 240.06, 9 entrée d'air, 10 tuyau d'aspiration, 11 raccord pour tube de Pitot HM 240.03



Représentation d'une caractéristique de ventilateur en bleu: valeurs mesurées, en rouge: caractéristique du ventilateur; p pression, Q débit volumétrique



Capture d'écran du logiciel avec les accessoires HM 240.03 Sonde de pression totale électronique et HM 240.04 Distribution de la pression autour d'un cylindre

Spécification

[1] étude des principes de base de l'écoulement d'air
[2] tuyau d'aspiration transparent avec possibilités de montage d'accessoires supplémentaires
[3] contour d'entrée limitant les turbulences du côté d'aspiration
[4] vanne papillon installée sur le tuyau de refoulement pour l'ajustage de l'écoulement d'air
[5] mesure électronique de la température et de la pression
[6] détermination de la vitesse à l'aide de la pression dynamique
[7] détermination du débit volumétrique au moyen de la pression différentielle
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Ventilateur radial
- puissance absorbée max.: 90W
- vitesse: 2800min^{-1}
- débit de refoulement max.: 460m^3/h
- pression différentielle max.: 480Pa

Tuyau de refoulement
- Ø extérieur: 110mm
- Ø intérieur: 99,4mm

Tuyau d'aspiration
- Ø extérieur: 140mm
- Ø intérieur: 134,4mm

Plages de mesure
- pression: 1x ±10mbar
- pression: 2x ±1mbar
- température: 0...200°C

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 850x450x600mm
Poids: env. 23kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu de flexibles
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air

L'appareil de base et sa large gamme d'accessoires permettent d'étudier, de manière très complète, les échangeurs de chaleur utilisés pour le conditionnement de l'air dans la technique de climatisation et de ventilation.

- étude du transfert de chaleur convectif sur des échangeurs de chaleur dans la technique de climatisation et de ventilation
- influence des différentes surfaces de tube sur la modification de la température de l'air
- détermination du profil d'écoulement dans le conduit d'air derrière l'échangeur de chaleur, avec le tube de Pitot mobile verticalement, la sonde statique sur le conduit d'air et un manomètre à tube incliné
- détermination de la vitesse d'écoulement de l'air par la tuyère de mesure, à l'entrée du conduit d'air. La vitesse peut être ajustée sur une large plage grâce à une vanne papillon située à la sortie du ventilateur.
- les générateurs d'eau chaude et d'eau froide disponibles en option (WL 312.10, WL 312.11) permettent un fonctionnement indépendant du réseau du laboratoire
- groupe frigorifique WL 312.12 en option pour l'utilisation de l'évaporateur direct WL 312.03



Accessoires en option pour l'alimentation des échangeurs de chaleur



WL 312.10
Générateur d'eau chaude

Le générateur d'eau chaude permet d'alimenter les échangeurs de chaleur WL 312.01 et WL 312.02. Les échangeurs de chaleur fonctionnent alors en tant que réchauffeurs d'air.



WL 312.11
Générateur d'eau froide

Le générateur d'eau froide permet d'alimenter les échangeurs de chaleur WL 312.01 et WL 312.02. Les échangeurs de chaleur fonctionnent alors en tant que refroidisseur d'air.



WL 312.12
Groupe frigorifique

Le groupe frigorifique sert à refroidir l'air pour le fonctionnement de l'évaporateur direct WL 312.03.

WL 312 + échangeurs de chaleur WL 312.01 – WL 312.03

WL 312.01
Transfert de chaleur sur les tubes lisses

Les échangeurs de chaleur avec **tubes lisses** sont utilisés dans les systèmes sur lesquels il faut éviter la formation de dépôts sur les tubes, et que l'on souhaite pouvoir nettoyer rapidement et de manière efficace. Cet **échangeur de chaleur air-eau** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à l'alimentation en eau chaude et en eau froide est assuré par des flexibles avec accouplements rapides. Un couvercle transparent permet une bonne observation de l'échangeur de chaleur. L'eau s'écoule à travers le faisceau tubulaire. L'air est transporté à courants croisés à travers l'échangeur de chaleur.

WL 312.02
Transfert de chaleur sur les tubes à ailettes

Les échangeurs de chaleur avec **tubes à ailettes** sont utilisés pour obtenir un transfert de chaleur optimal entre des fluides gazeux et des liquides, à condition que les fluides ne soient pas souillés. Cet **échangeur de chaleur air-eau** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à l'alimentation en eau chaude et en eau froide est assuré par des flexibles avec accouplements rapides.

Le faisceau tubulaire est constitué de tubes à ailettes semblables à ceux qui sont fréquemment utilisés dans les échangeurs de chaleur air-eau. Un couvercle transparent permet une bonne observation de l'échangeur de chaleur. L'eau s'écoule à travers le faisceau tubulaire. L'air est transporté à courants croisés à travers l'échangeur de chaleur.

WL 312.03
Transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant



Cet **évaporateur dit direct** est inséré dans le conduit d'air du WL 312 dans lequel il est fixé à l'aide de fermetures à genouillère. Le raccordement à un groupe frigorifique est assuré par des flexibles avec accouplements rapides.

L'agent réfrigérant s'évapore dans les tubes, et prélève de la chaleur de l'air. Les **tubes** sont **rainurés** afin d'étendre la surface de transfert de la chaleur. Ici aussi, le couvercle transparent facilite l'observation de l'évaporateur.

Accessoires en option

WL 312.10
Générateur d'eau chaude

ou

WL 312.11
Générateur d'eau froide

WL 312.10
Générateur d'eau chaude

ou

WL 312.11
Générateur d'eau froide

WL 312.12
Groupe frigorifique

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air



Description

- **en association avec les accessoires, étude du transfert de chaleur convectif**

Dans de nombreux processus de production industrielle, ainsi que pour la climatisation des bâtiments, le transfert de chaleur s'effectue à l'aide d'un écoulement d'air. Le transfert de chaleur convectif est ici déterminé par les différentiels de température entre les fluides utilisés et l'écoulement.

Le banc d'essai WL 312 étudie le transfert de chaleur convectif sur différentes surfaces de tubes. Le mouvement d'écoulement est assuré par une convection forcée.

Un conduit d'air isolé avec ventilateur sert de section de mesure. Un élément d'entrée favorable à l'écoulement et un redresseur situé dans le conduit d'air assurent un écoulement homogène pour la réalisation des essais. Le débit volumétrique est ajusté par une vanne papillon située à la sortie du ventilateur, et mesuré par une tuyère de mesure à l'entrée du conduit d'air.

Il est possible d'insérer dans le conduit d'air des échangeurs de chaleur dont les surfaces de tubes sont différentes. Des échangeurs de chaleur avec des tubes lisses, des tubes à ailettes ou encore un évaporateur d'agent réfrigérant, sont disponibles en option. Pour permettre d'observer les essais, le conduit d'air est muni de deux fenêtres.

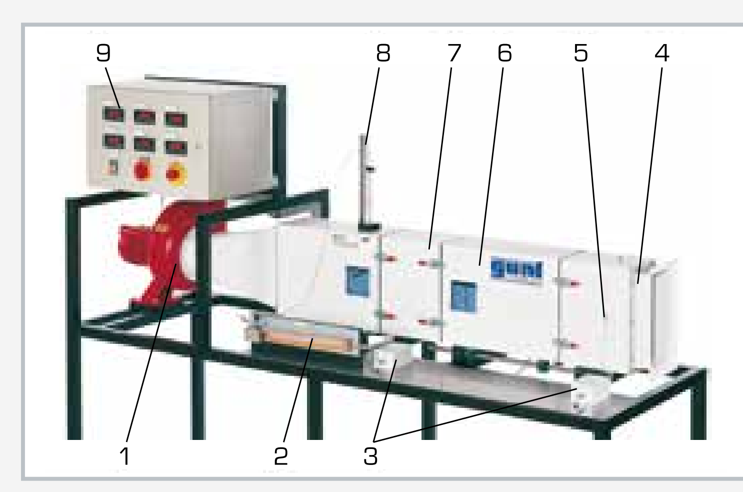
Des capteurs combinés mesurent la température et l'humidité relative à l'entrée et à la sortie de l'échangeur de chaleur. Les pressions avant et après la section de mesure sont également mesurées, et la perte de charge au niveau de l'échangeur de chaleur est déterminée. La distribution de la vitesse dans le conduit d'air est mesurée avec un tube de Pitot. Les températures, les pressions et l'humidité relative sont affichées numériquement.

Les accessoires suivants sont recommandés pour l'alimentation des échangeurs de chaleur: générateur d'eau chaude (WL 312.10), générateur d'eau froide (WL 312.11) et groupe frigorifique (WL 312.12).

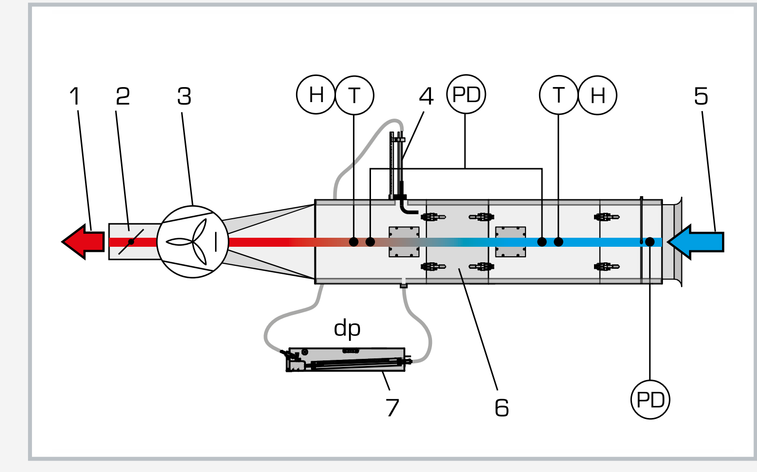
Contenu didactique/essais

- essais sans accessoires
  - enregistrement de la caractéristique du ventilateur
  - distribution de la vitesse dans le canal traversé par l'écoulement
- essais avec accessoires
  - transfert de chaleur sur les tubes lisses (WL 312.01, associé aux WL 312.10 / WL 312.11)
  - transfert de chaleur sur les tubes à ailettes (WL 312.02, associé aux WL 312.10 / WL 312.11)
  - transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant (WL 312.03, associé au WL 312.12)

WL 312
Transfert de chaleur par écoulement d'air



1 ventilateur avec vanne papillon, 2 manomètre à tube incliné, 3 capteur de pression différentielle, 4 entrée favorable à l'écoulement, 5 mesure de pression par tuyère de mesure, 6 conduit d'air avec fenêtres, 7 section de mesure pour accessoires interchangeables, 8 tube de Pitot, 9 éléments d'affichage et de commande



1 sortie d'air, 2 vanne papillon, 3 ventilateur, 4 tube de Pitot, 5 entrée d'air, 6 section de mesure pour accessoires interchangeables, 7 manomètre à tube incliné;
H humidité, T température, dp pression différentielle, PD capteur de pression différentielle



Accessoires pour le banc d'essai:
WL 312.01 Transfert de chaleur sur les tubes lisses
WL 312.02 Transfert de chaleur sur les tubes à ailettes
WL 312.03 Transfert de chaleur sur l'évaporateur d'agent réfrigérant

Spécification

[1] conduit d'air pour l'étude du transfert de chaleur dans des écoulements d'air
[2] conduit d'air isolé avec redresseur et entrée favorable à l'écoulement
[3] détermination du débit volumétrique de l'air en fonction du différentiel de pression, au niveau de la tuyère de mesure
[4] ventilateur avec débit ajustable
[5] tube de Pitot mobile avec manomètre à tube incliné pour la mesure des distributions de la vitesse
[6] capteurs de température et d'humidité combinés
[7] affichages numériques de la pression différentielle, de la température et de l'humidité relative de l'air
[8] différents échangeurs de chaleur disponibles en option

Caractéristiques techniques

Section transversale du conduit d'air: 150x300mm

Ventilateur
- puissance: 1100W
- débit de refoulement max.: 1680m^3/h
- pression différentielle max.: 1000Pa
- vitesse nominale: 2800min^{-1}
- vitesse de l'air: max. 10m/s

Tube de Pitot: déplacement 300mm

Plages de mesure
- température: 2x 0...50°C
- humidité: 2x 0...100%
- pression différentielle: 0...100Pa

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 2350x750x1800mm
Poids: env. 150kg

Liste de livraison

1 banc d'essai
1 jeu d'accessoires
1 documentation didactique



HL 710
Planification et assemblage de systèmes de conduit d'air

Système à l'échelle d'origine, assemblage individuel

Systèmes de conduit d'air doté de composants typiques de la technique de ventilation: assemblage et essais

Les composants


Cintres


Réduction (à gauche) et éléments de fixation


Jonctions


Vanne papillon (à gauche) et diaphragme à iris (à droite)


Soupape à disque (à gauche) et ventilation à fente (à droite)


Filtres

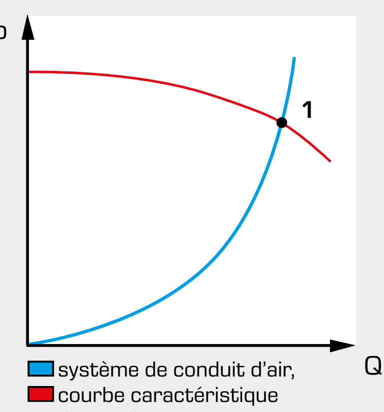
Les essais

Dans le système de conduit d'air sont installés plusieurs composants avec des points de mesure, destinés à mesurer la pression. Avec un tube incliné et un manomètre numérique, il est possible de mesurer la pression statique et la pression dynamique à ces endroits. Il est alors possible de déterminer les pertes de pression de différents composants ou de l'ensemble du système de conduit d'air.

L'anémomètre permet de mesurer les vitesses de l'air et les débits volumétriques dans les bouches de ventilation de l'installation. Les valeurs mesurées servent à établir des courbes caractéristiques d'installations et du ventilateur. Le point de fonctionnement est déduit des courbes caractéristiques.



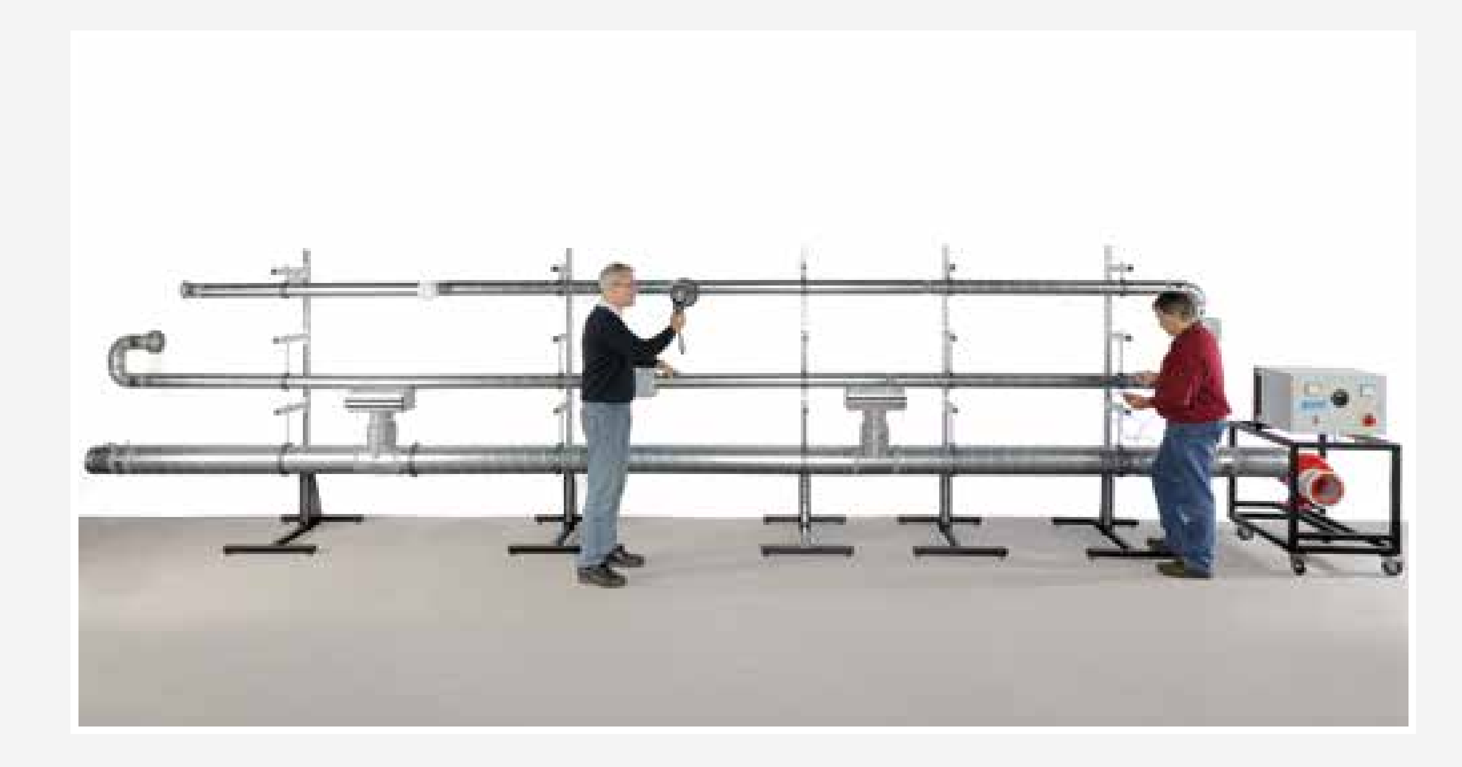
1 manomètre numérique, **2** manomètre de tube incliné, **3** anémomètre



système de conduit d'air, courbe caractéristique de ventilateur;
1 point de fonctionnement,
p pression, **Q** débit


Points de mesure pour la pression statique et la pression dynamique

HL 710
Systèmes de conduit d'air



Description

- **planification et montage de systèmes de conduit d'air simples et complexes**
- **mesure des pressions dynamiques et statiques dans les systèmes de conduit d'air**
- **mesure de la vitesse et du débit volumétrique dans différentes conditions**

Les installations techniques de ventilation sont utilisées dans de nombreux domaines. Elles servent à la ventilation des bureaux, des salles de sport, des ateliers de production, des salles de spectacle, etc. Ces installations sont composées d'un système de conduit d'air et souvent aussi d'autres dispositifs servant au conditionnement de l'air ambiant. Elles peuvent en plus contenir des éléments destinés à la purification de l'air ou à la réduction du bruit.

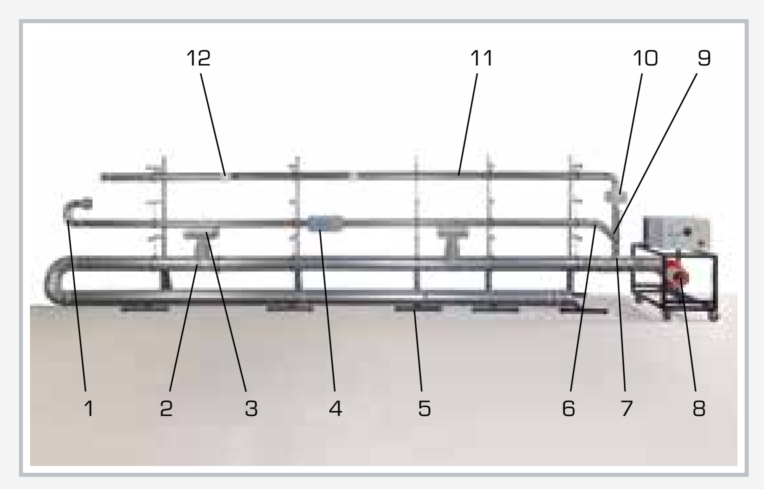
Le banc d'essai HL 710 permet d'étudier les moyens de distribution de l'air dans un bâtiment. Le système de conduit d'air est alimenté par un ventilateur dont la vitesse de rotation est réglée. L'étudiant construit des systèmes de conduit d'air variables à partir de composants couramment utilisés sur le marché comme des tuyaux, coudes, jonctions, filtres et soupapes à disque. Les raccords destinés à mesurer la pression peuvent être montés à n'importe quel endroit.

Les effets de chacun des composants sur la perte de pression et donc sur la vitesse et le débit d'air sont étudiés. Deux manomètres sont prévus à cet effet avec différentes plages de mesure et un appareil à main pour la mesure de la vitesse de l'air. La courbe caractéristique du ventilateur est également calculée et la puissance absorbée est mesurée.

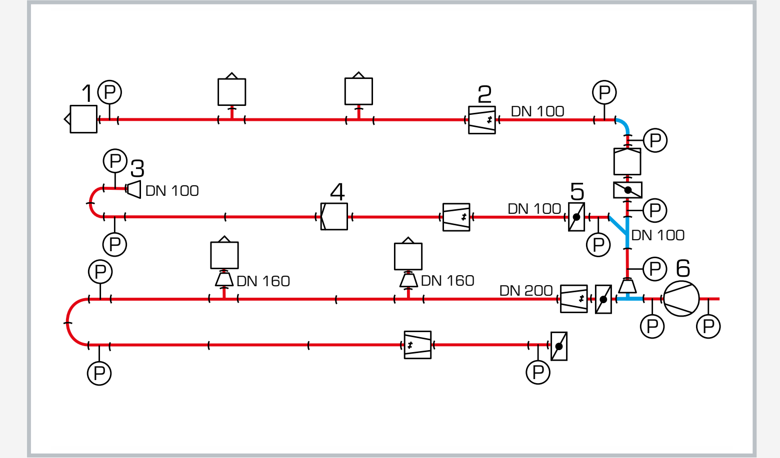
Contenu didactique/essais

- planification, montage et test d'un système de conduit d'air
- composants typiques en technique de ventilation
- mesure du débit et vitesse de l'air
- mesure des pressions dynamiques et statiques
- détermination de la perte de pression à travers différents composants comme les coudes, angles, distributeurs, etc.
- enregistrement des courbes caractéristiques de l'installation
- enregistrement de la courbe caractéristique du ventilateur
- détermination du point de fonctionnement
- détermination de la puissance électrique du moteur du ventilateur à partir de la tension et de l'intensité
- calcul du rendement du ventilateur

HL 710
Systèmes de conduit d'air



1 coude 90°, 2 réduction, 3 sortie à fente, 4 filtre à poche, 5 support de montage, 6 coude 45°, 7 pièce en T, 8 ventilateur, 9 dérivation, 10 cartouche filtrante, 11 diaphragme, 12 soupape à disque



Plan des tuyaux: 1 soupape d'alimentation et à disque, 2 diaphragme, 3 réduction, 4 filtre, 5 vanne papillon, 6 ventilateur; P point de mesure de la pression; en bleu: coudes et raccords



1 ajustage de la vitesse de rotation du ventilateur, 2 interrupteur MARCHE-ARRET du ventilateur, 3 interrupteur principal, 4 wattmètre

Spécification

[1] structure d'essai pour la formation à la construction de systèmes de ventilation
[2] ventilateur radial, sur bâti mobile, pour le raccordement à des conduits d'air
[3] conduits d'air en tuyau spiralé zingué avec coudes, raccords et composants
[4] raccords de mesure de la pression dont on peut changer la position sur le système
[5] 6 supports de montage pour la fixation des conduits d'air
[6] manomètre à tube incliné et manomètre numérique pour 2 plages de mesure différentes
[7] mesure de la vitesse de l'air avec l'anémomètre
[8] coffret de commande avec affichage de la puissance

Caractéristiques techniques

Ventilateur
- puissance absorbée: 900W
- débit volumétrique max.: 1680m^3/h
- différence de pression max.: 1000Pa
- vitesse de rotation: 0...2840min^{-1}

Tuyaux
- longueur: 1600mm
- diamètre: 8x DN200, 8x DN100

Coudes et raccords, chacun DN100 et DN200
- coude 90°, coude 45°
- dérivation 45°
- pièce en T, pièce en T avec réduction
- réduction, raccord enfichable, manchon

Éléments d'étranglement, chacun DN100 et DN200
- vanne papillon
- diaphragme

Filtres, chacun DN100 et DN200
- filtre à poche
- cartouche filtrante

Plages de mesure
- pression: 0...200Pa / 0...2000Pa
- vitesse: 0,25...30m/s
- puissance: 0...5,75kW

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 800x810x1250mm (ventilateur)
Poids total: env. 180kg

Liste de livraison

1 ventilateur radial sur un bâti mobile
6 supports de montage
1 jeu de tuyaux, coudes, raccords, composants (sorties, filtres, etc.)
1 manomètre à tube incliné
1 manomètre numérique
1 anémomètre
1 documentation didactique

HL 720
Installation de ventilation



Contenu didactique/essais

- structure et fonctionnement d'une installation de ventilation
- mesures de pression sur le conduit d'air
- calcul de la puissance d'entraînement électrique du ventilateur
- calcul du débit
- structure et fonctionnement de composants tels que
  - grille de protection contre les intempéries
  - persienne
  - filtre
  - échangeur de chaleur (aucune opération)
  - ventilateur
  - couvercle de révision
  - silencieux à coulisse
  - grille de ventilation avec débit ajustable
  - clapet coupe-feu
  - bouches de ventilation du plafond

Description

- **installation de ventilation complète**
- **relation étroite avec la pratique grâce à l'utilisation de composants industriels issus de la technique de ventilation**
- **représentation d'évolutions de pression**

En ingénierie de bâtiment, des installations de ventilation sont utilisées dans les locaux commerciaux, hôpitaux, restaurants ou lieux publics, afin d'assurer le renouvellement de l'air requis dans chacune des pièces. L'air est chauffé ou refroidi par le biais d'un échangeur de chaleur.

HL 720 montre le fonctionnement d'une installation de ventilation et de ses différents composants: les composants utilisés sont courants en technique de ventilation, et offrent donc une relation étroite avec la pratique. L'installation de ventilation est utilisée comme simple système d'alimentation en air.

L'air pénètre par une grille de protection contre les intempéries et traverse les composants de l'installation de ventilation comme, p.ex., la persienne et le filtre. Un ventilateur assure le transport de l'air. Sur la suite du parcours du conduit d'air, sont disposés des composants typiques tels qu'un silencieux à coulisse, un clapet de révision, différentes bouches de ventilation et un clapet coupe-feu.

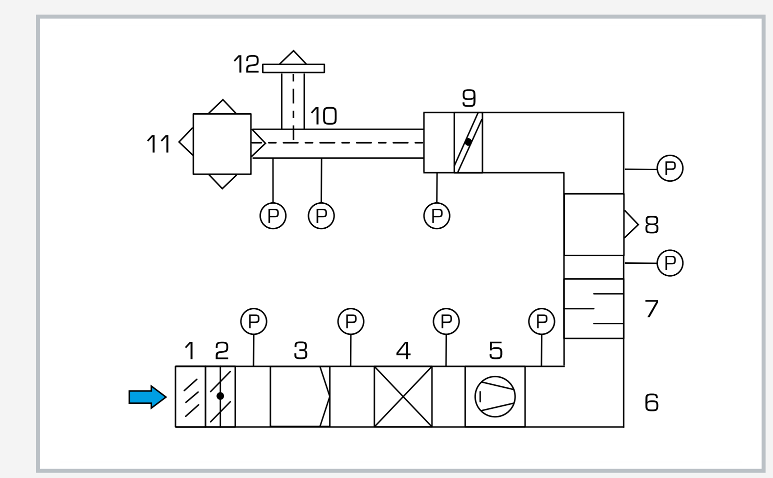
Des fenêtres permettent de visualiser le silencieux à coulisse, le filtre et le ventilateur. Le fonctionnement d'origine des composants est préservé.

L'enregistrement de pressions et de pressions différentielles à des points de mesure pertinents permet de représenter l'évolution de la pression sur l'ensemble de l'installation. La puissance d'entraînement électrique du ventilateur, ainsi que le débit volumétrique d'air, sont le résultat de calculs.

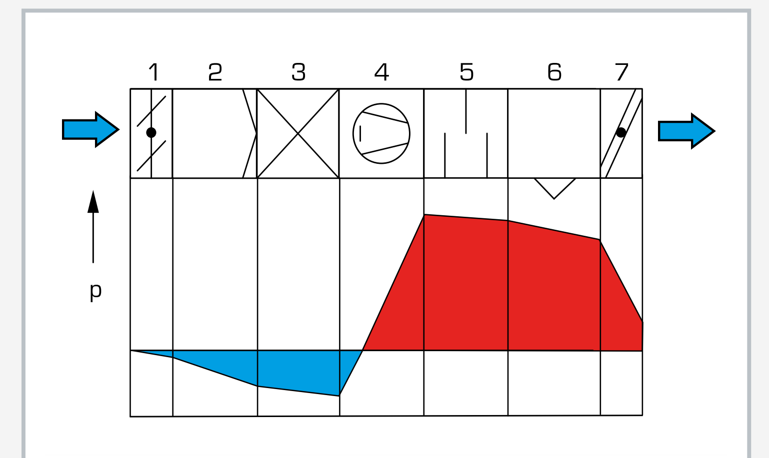
HL 720
Installation de ventilation



1 clapet coupe-feu, 2 manomètre à tube incliné, 3 grille de protection contre les intempéries, 4 persienne, 5 filtre, 6 échangeur de chaleur, 7 couvercle de révision, 8 ventilateur avec moteur d'entraînement, 9 conduit d'air, 10 bouche de ventilation du plafond, 11 bouche de ventilation murale



1 grille de protection contre les intempéries, 2 persienne, 3 filtre, 4 échangeur de chaleur, 5 ventilateur, 6 conduit d'air, 7 silencieux à coulisse, 8 bouche de ventilation murale, 9 clapet coupe-feu, 10 jonction, 11 bouche de ventilation pour montage au plafond, 12 vanne à disque; P pression



Évolution de la pression à l'intérieur de l'installation de ventilation: 1 persienne, 2 filtre, 3 échangeur de chaleur, 4 ventilateur, 5 silencieux à coulisse, 6 bouche de ventilation murale, 7 clapet coupe-feu; rouge: surpression, bleu: sous pression

Spécification

[1] fonctionnement d'une installation de ventilation
[2] tous les composants issus de la technique de ventilation, en partie avec fenêtres
[3] grille de protection contre les intempéries et persienne ajustable à l'entrée d'air
[4] filtre de purification de l'air
[5] ventilateur radial entraîné par une courroie
[6] 2 silencieux à coulisse
[7] différentes bouches de ventilation pour la distribution de l'air dans la pièce: vanne à disque, bouche de ventilation du plafond et grille de ventilation avec débit ajustable
[8] couvercle de révision à des fins d'inspection
[9] le clapet coupe-feu empêche la propagation de feux et de fumées dans le conduit d'air
[10] conduit d'air avec raccords de mesure de la pression
[11] mesures de pression avec un manomètre à tube incliné
[12] mesure de l'intensité pour le calcul de la puissance absorbée du ventilateur
[13] calcul du débit par la pression différentielle

Caractéristiques techniques

Conduit d'air
- 2 sections avec lxh 630x305mm et 630x630mm

Ventilateur
- débit de refoulement max.: 2500m^3/h
- moteur d'entraînement: 750W

Plages de mesure
- pression: 0...7,5mbar
- courant: 0...4A

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 1960x900x2000mm
Poids: env. 263kg

Liste de livraison

1 installation d'essai
1 documentation didactique

gunt HAMBURG

7

Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique





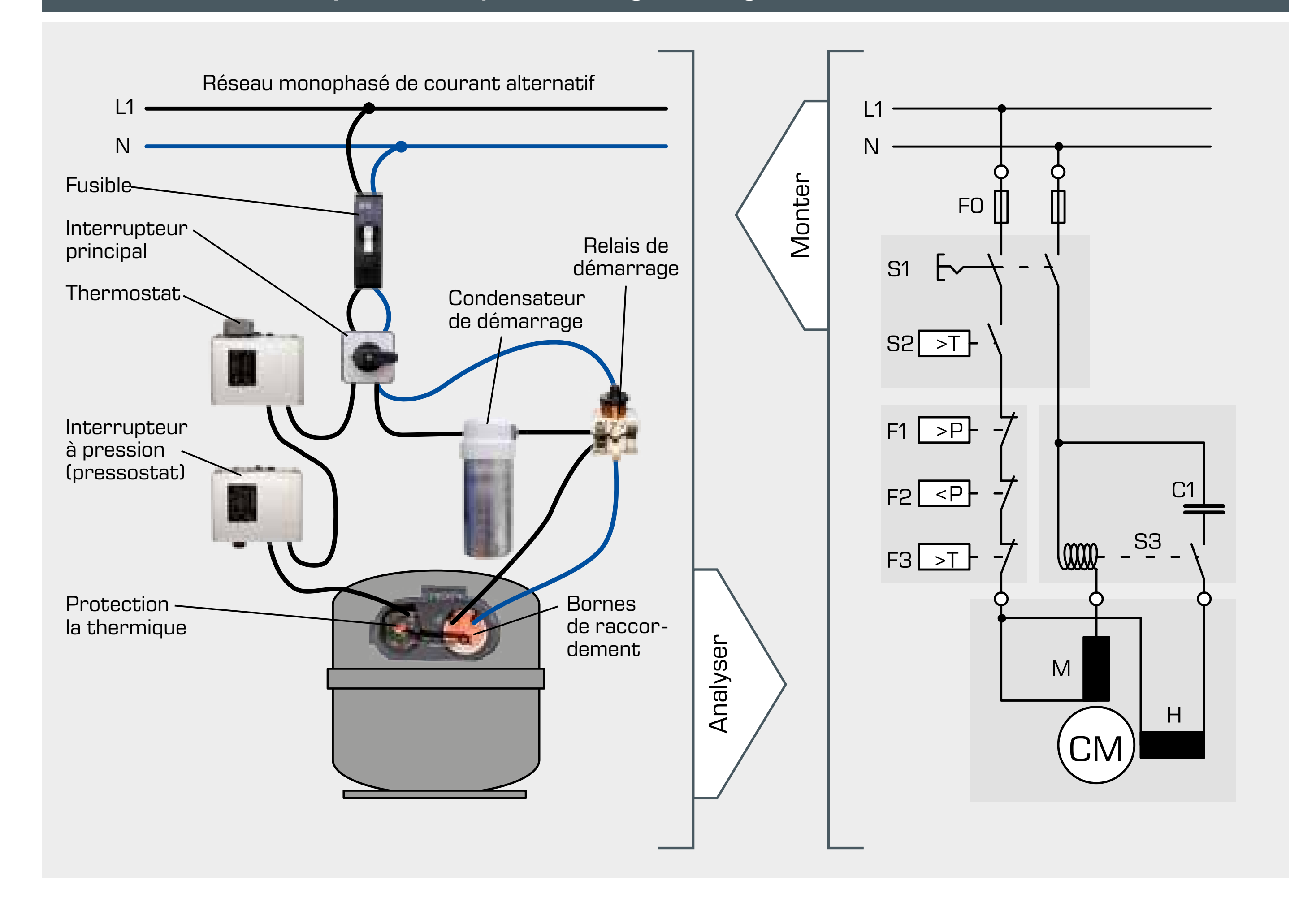
Connaissances de base

Électrotechnique dans le domaine du génie frigorifique

Les installations frigorifiques contiennent un grand nombre de composants électriques, tels que des compresseurs, des interrupteurs de pression, des thermostats, des ventilateurs, des électrovannes ou des commandes. Pour cette raison, l'électrotechnique constitue un secteur important du génie frigorifique. Cela se traduit par la présence d'une quantité importante de contenus électrotechniques dans la formation de mécatronicien frigoriste. Les mécatroniciens frigoristes doivent être en mesure de réaliser la planification, l'assemblage et la mise en service d'installations électriques.

En ce qui concerne la partie service, le contrôle, la recherche de pannes et la remise en état d'installations électriques constituent des points tout aussi importants. En cas de dépannage, on est souvent confronté à des installations inconnues, accompagnées d'une documentation déficiente, de telle sorte que les mécatroniciens frigoriste doivent être en mesure d'analyser l'installation et d'en comprendre le fonctionnement. Cela demande de solides connaissances de base en matière d'électrotechnique.

Raccordement électrique d'un compresseur d'agent réfrigérant sur le réseau de courant alternatif



Le raccordement d'un compresseur d'agent réfrigérant avec ses éléments de protection sur le réseau monophasé de courant alternatif fait partie des activités standard des mécatroniciens frigoristes. Cette opération exige l'élaboration correcte d'un schéma de connexion et le câblage pratique des composants électriques dans l'installation frigorifique.

Le câblage du compresseur **CM** se compose de trois groupes fonctionnels:

- la commande qui se compose d'un interrupteur principal **S1** et d'un thermostat **S2**
- un sous-groupe de sécurité qui se compose d'interrupteurs de pression (pressostats) **F1**, **F2**, et d'une protection thermique du compresseur **F3**
- un circuit de démarrage qui se compose d'un relais de démarrage **S3** et d'un condensateur de démarrage **C1**

Circuits de démarrage pour moteurs de compresseurs monophasés

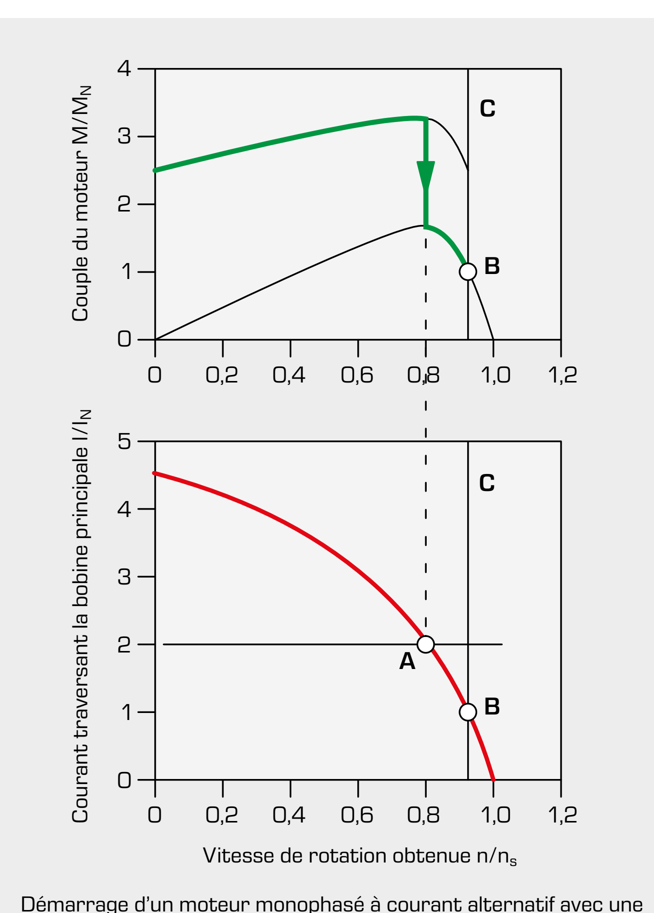
Les moteurs d'entraînement des compresseurs d'agent réfrigérant exigent un couple de démarrage élevé. Dans le cas de puissances faibles, on utilise des moteurs monophasés à courant alternatif en guise de comme moteurs d'entraînement. Ils sont de conception simple, ne demandent aucune maintenance, sont peu coûteux et peuvent fonctionner avec des agents réfrigérants (compresseur hermétique).

En raison de leur mode de fonctionnement, ces moteurs ne possèdent à l'arrêt aucun couple ou bien seulement un couple faible. Pour augmenter le couple, il faut doter les moteurs d'un circuit de démarrage. À cette fin et en attendant que l'on ait atteint la vitesse de rotation de service, une bobine auxiliaire est également alimentée en courant électrique par un condensateur. La mise sous tension et la déconnexion automatique de la bobine auxiliaire peut se faire de différentes manières.

La méthode la plus courante consiste dans un relais de démarrage dont la bobine est montée en série avec la bobine principale. Lors du démarrage du moteur, la bobine principale est d'abord traversée par un courant électrique élevé, le relais de démarrage est alors sollicité et active la bobine auxiliaire via le condensateur. Après que le moteur a atteint sa vitesse de rotation, le courant électrique dans la bobine principale diminue. Si le courant électrique passe en-dessous d'une certaine valeur, le relais retourne alors à la position de repos et la bobine auxiliaire est désactivée.

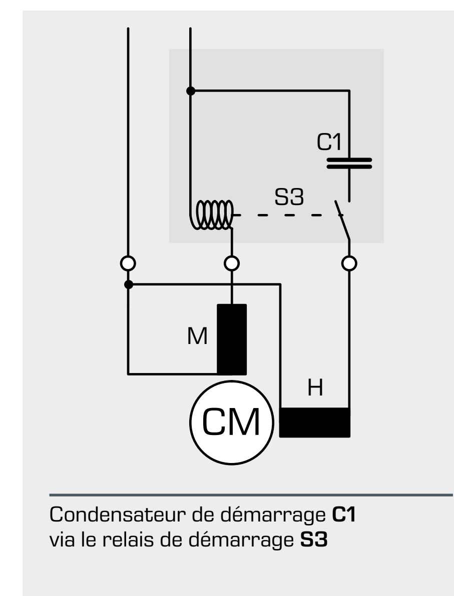
La connexion de la bobine auxiliaire peut également s'effectuer via un interrupteur centrifuge, et ce directement en fonction de la vitesse de rotation. Dans le cas de certains moteurs, la bobine auxiliaire est activée en permanence via un condensateur de service. Dans ce cas, on connecte un second condensateur de démarrage en parallèle pendant le démarrage afin d'augmenter le couple.

Une autre méthode, qui entraîne très peu d'usure, consiste à utiliser un élément PTC. Celui-ci se réchauffe grâce au courant qui circule dans la bobine auxiliaire, augmentant ainsi sa résistance. Le courant électrique qui circule dans la bobine auxiliaire est alors réduit après un court laps de temps.

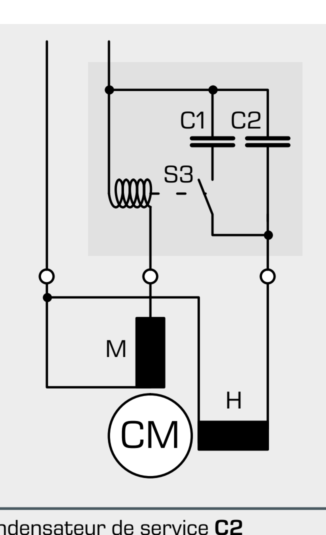


Démarrage d'un moteur monophasé à courant alternatif avec une bobine auxiliaire:la bobine auxiliaire est déconnectée si $I = 2\ I_N$

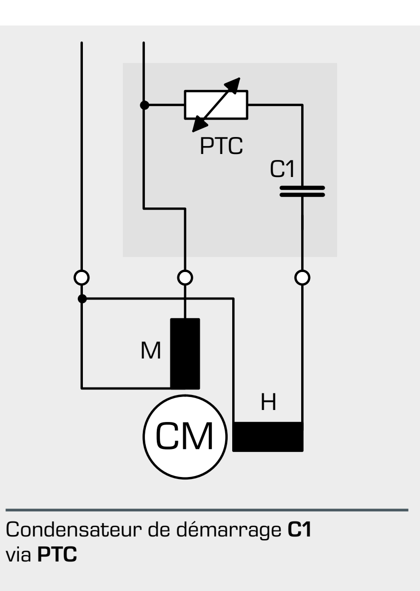
M_N couple nominal, **I_N** courant nominal, **n_s** vitesse de rotation synchrone, **A** point de commutation, **B** point de fonctionnement dynamique, **C** n_N/n_s = vitesse de rotation nominale



Condensateur de démarrage **C1** via le relais de démarrage **S3**



Condensateur de service **C2** et condensateur de démarrage **C1** via le relais de démarrage **S3**



Condensateur de démarrage **C1** via **PTC**

ET 144

Installation électrique dans des installations frigorifiques



Contenu didactique/essais

- lire, comprendre, câbler et contrôler les schémas de connexion
- structure et fonction de composants électriques issus du génie frigorifique
  - condensateur de démarrage
  - condensateur de service
  - relais de démarrage
  - relais temporisé
  - programmateur
  - disjoncteur
  - limiteur de courant de démarrage
  - contacteurs
  - pressostat
  - thermostat
  - électrovanne
- structure et contrôle d'une chaîne de sécurité
- connexion en étoile / triangle
- modification du sens de rotation dans le circuit de courant alternatif
- **aspects relatifs à la sécurité lors de l'utilisation de la tension du réseau**

Description

- **structure et câblage de connexions électriques typiques issues du génie frigorifique**
- **étude de composants électriques importants issus du génie frigorifique**
- **structure et étude d'une chaîne de sécurité**

Le câblage de composants électriques est une tâche typique du génie frigorifique. En plus de la structure et de la fonction des différents composants électriques, il est important d'acquérir des connaissances sur l'action combinée des composants dans les connexions. Les aspects de sécurité jouent à ce sujet un rôle important. Vous pouvez acquérir ces connaissances à l'aide du ET 144.

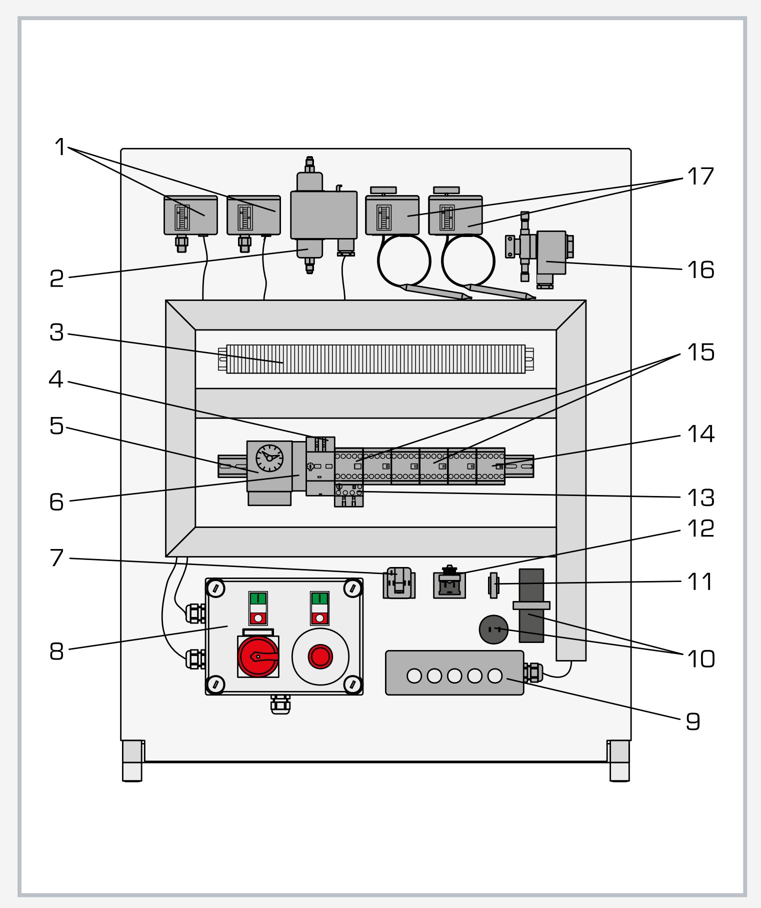
Les composants électriques sont disposés de manière bien visible. Tous les composants sont posés sur des barrettes à bornes. Les câbles inclus dans le contenu de livraison permettent de monter différentes connexions fonctionnelles et conformes. Des lampes simulent les utilisateurs. Tous les composants sont branchés à la tension du réseau afin de garantir une étroite relation avec la pratique.

Il y a des composants électriques pour le démarrage et le fonctionnement de compresseurs d'agent réfrigérant, comme par ex. un relais de démarrage électromagnétique et un condensateur. Un programmateur permet de monter et d'étudier les connexions pour le dégivrage cyclique des installations frigorifiques.

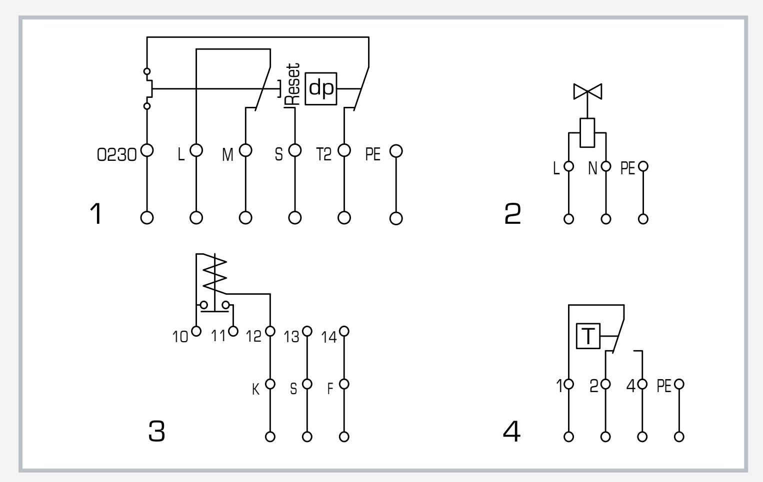
Ce qui inclut également la bonne programmation du programmateur. En outre, des composants de sécurité typiques tels que pressostat, thermostat et disjoncteur sont inclus dans le contenu de la livraison. Ces composants permettent le montage et l'étude d'une chaîne de sécurité typique en génie frigorifique.

ET 144

Installation électrique dans des installations frigorifiques



1 pressostat, 2 pressostat différentiel, 3 barrettes à bornes, 4 disjoncteur avec limiteur de courant de démarrage, 5 programmateur, 6 disjoncteur thermistor, 7 relais de démarrage PTC, 8 armoire de commande, 9 lampes, 10 condensateurs, 11 disjoncteur bimétal, 12 relais de démarrage électromagnétique, 13 relais de protection ajustable, 14 relais temporisé, 15 contacteurs, 16 électrovanne, 17 thermostat



Schémas de connexion: 1 pressostats différentiels, 2 électrovanne, 3 relais de démarrage électromagnétique, 4 thermostat

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] structure et étude de connexions avec des composants électriques issus du génie frigorifique
[3] composants électriques montés de manière bien visible et posés sur des barrettes à bornes
[4] 1 jeu de câbles avec embouts pour le câblage de composants électriques avec des barrettes à bornes
[5] 3 pressostats, 2 thermostats, 1 électrovanne, 1 programmateur, 4 disjoncteurs, 5 contacteurs, 3 relais, 2 condensateurs
[6] 5 lampes pour la simulation d'utilisateurs

Caractéristiques techniques

3 pressostats
- haute pression: 8...32bar
- basse pression: -0,9...7bar
- pression différentielle: 0,3...4,5bar

2 thermostats: -5...20°C
1 programmateur
- 2 sorties connectables
- temps caractéristique de fonctionnement: 1...60min

4 disjoncteurs
- disjoncteur bimétal
- disjoncteur thermistor
- disjoncteur avec limiteur de courant de démarrage
- relais de protection ajustable

5 contacteurs
- 2x: 3 contacts à fermeture, 1 contact à ouverture
- 3x: 4 contacts à fermeture

3 relais
- relais de démarrage électromagnétique
- relais de démarrage PTC
- relais temporisé

Condensateur de démarrage et de service
- 15µF, 80µF

400V, 50Hz, 3 phases
400V, 60Hz, 3 phases; 230V, 60Hz, 3 phases
UL/CSA en option
Lxlxh: 820x420x1010mm
Poids: env. 42kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 jeu d'accessoires (câbles + embouts)
1 documentation didactique

ET 171
Raccordement électrique de compresseurs d'agent réfrigérant



Description

- **raccordement électrique conforme d'un compresseur d'agent réfrigérant**
- **utilisation d'un compresseur d'agent réfrigérant réel**
- **structure et étude d'une chaîne de sécurité**

La circuiterie des composants électriques pour le démarrage et le fonctionnement de compresseurs d'agent réfrigérant est une tâche typique du génie frigorifique. Les aspects de sécurité jouent à ce sujet un rôle important. Vous pouvez acquérir ces connaissances et capacités à l'aide du ET 171. Tous les composants sont branchés à la tension du réseau afin de garantir une étroite relation avec la pratique.

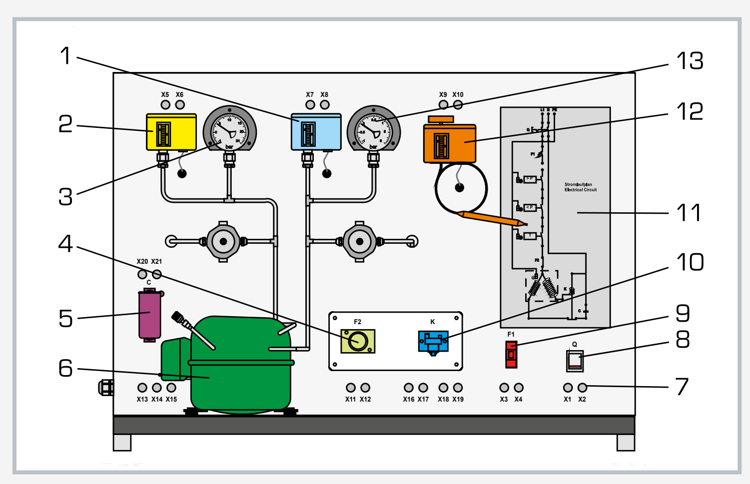
Les composants électriques servant au démarrage et au fonctionnement du compresseur d'agent réfrigérant sont disposés de manière bien visible. La liaison électrique des différents composants électriques avec câbles se fait par l'intermédiaire des connecteurs de laboratoire. En ce qui concerne les composants, il s'agit par ex. du condensateur nécessaire au démarrage du moteur et du relais de démarrage. Le schéma de connexion placé sur le panneau avant facilite l'affectation des différents composants.

Le circuit de l'agent réfrigérant avec compresseur et réservoir permet le contrôle des pressostats situés sur le côté d'aspiration et le côté de refoulement du compresseur. Des soupapes permettent d'ajuster la pression et de déclencher ainsi le pressostat. Deux manomètres permettent d'observer l'évolution de la pression. En cas de déclenchement du pressostat, l'alimentation en courant du compresseur est interrompue. La circuiterie et le contrôle d'autres composants typiques de la chaîne de sécurité comme par ex. le disjoncteur et le coupe-circuit automatique sont également réalisés.

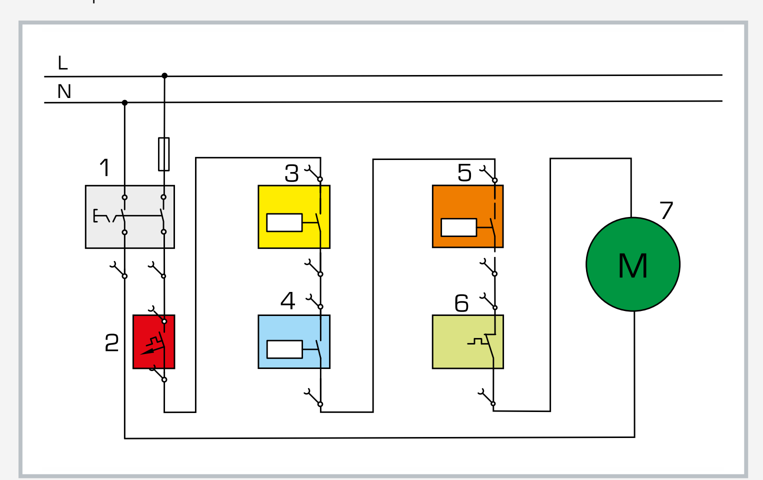
Contenu didactique/essais

- lire, comprendre, câbler et contrôler les schémas de connexion électrique des compresseurs d'agent réfrigérant
- structure et fonction de composants électriques d'un compresseur d'agent réfrigérant
  - condensateur de démarrage
  - relais de démarrage
  - protection thermique
  - coupe-circuit automatique
  - pressostat
  - thermostat
- structure et contrôle d'une chaîne de sécurité
- méthodes de représentation de l'électrotechnique
  - symboles
  - schémas de connexion
- **aspects relatifs à la sécurité lors de l'utilisation de la tension du réseau**

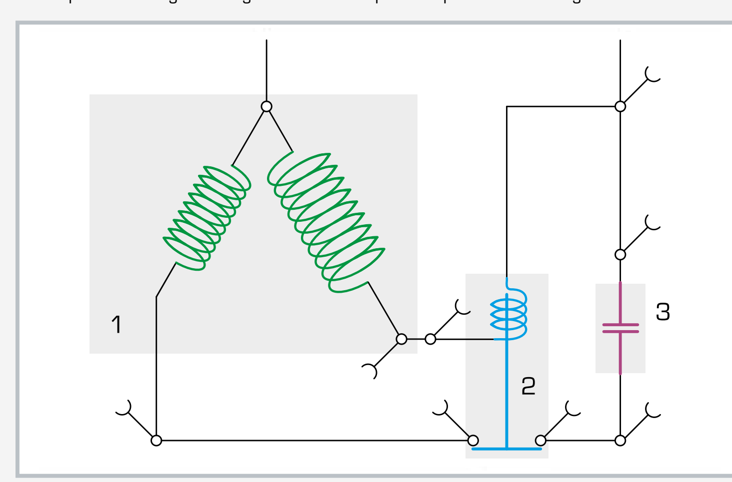
ET 171
Raccordement électrique de compresseurs d'agent réfrigérant



1 pressostat côté d'aspiration, 2 pressostat côté de refoulement, 3 manomètre côté de refoulement, 4 protection thermique, 5 condensateur de démarrage, 6 compresseur d'agent réfrigérant, 7 connecteurs de laboratoire, 8 interrupteur principal, 9 coupe-circuit automatique, 10 relais de démarrage, 11 schéma de connexion, 12 thermostat, 13 manomètre côté d'aspiration



Chaîne de sécurité: 1 interrupteur principal, 2 coupe-circuit automatique, 3 pressostat côté de refoulement, 4 pressostat côté d'aspiration, 5 thermostat, 6 protection thermique, 7 compresseur d'agent réfrigérant avec composants pour le démarrage



Compresseur d'agent réfrigérant avec composants pour le démarrage: 1 compresseur d'agent réfrigérant, 2 relais de démarrage, 3 condensateur de démarrage

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] raccordement électrique conforme d'un compresseur d'agent réfrigérant
[3] circuit de l'agent réfrigérant avec compresseur, réservoir, 2 vannes et 2 manomètres pour l'étude de pressostats sur les côtés d'aspiration et de refoulement
[4] composants électriques servant au démarrage et au fonctionnement du compresseur montés de manière bien visible
[5] connecteurs de laboratoire et câbles pour le raccordement des composants électriques
[6] fonction d'un thermostat
[7] schéma de connexion sur panneau avant pour une identification facile des composants
[8] agent réfrigérant R513A, GWP: 631

Caractéristiques techniques

Compresseur d'agent réfrigérant
- puissance absorbée: env. 193W à 5/55°C
- puissance frigorifique: 374W à 5/55°C

Réservoir: 0,8L

Plages de mesure manomètre
- côté de refoulement: -1...24bar
- côté d'aspiration: -1...9bar

Plage de régulation pressostat
- côté de refoulement: 8...32bar
- côté d'aspiration: -0,9...7bar

Thermostat: -5...35°C

Composants électriques pour compresseur
- condensateur de démarrage
- relais de démarrage
- protection thermique (bimétal)
- coupe-circuit automatique

Agent réfrigérant
- R513A
- GWP: 631
- volume de remplissage: 300g
- équivalent CO_2: 0,2t

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 920x410x660mm
Poids: env. 45kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 multimètre
1 jeu de câbles de laboratoire
1 documentation didactique

ET 930
Régulation de l'évaporateur avec soupape de détente électronique



Description

- **programmation pratique d'un régulateur de réfrigération**
- **logiciel de simulation d'un congélateur professionnel**
- **composants réels du régulateur de l'évaporateur montés sur le panneau avant à des fins de démonstration**

La régulation de meubles de refroidissement tels que les étagères de refroidissement, vitrines frigorifiques et congélateurs est un sujet central du génie frigorifique. L'objectif de la régulation est d'assurer une qualité élevée des aliments tout en optimisant l'efficacité énergétique.

Le ET 930 permet d'apprendre comment fonctionne et comment programmer un régulateur d'évaporateur industriel (régulateur de réfrigération) en se basant sur l'exemple d'un congélateur. Le logiciel simule le congélateur. Le schéma qui figure sur le panneau avant aide à la compréhension. Les lampes du schéma affichent l'état de fonctionnement de chacun des composants.

Le régulateur de réfrigération régule la température du congélateur par le biais de la soupape de détente électronique. Il commande en outre la circulation d'air du ventilateur.

Il assure le dégivrage de l'évaporateur et empêche, grâce un chauffage de bâti, le gel du couvercle du congélateur. Le régulateur de réfrigération surveille en continu le fonctionnement des composants et émet un signal d'alarme en cas de pannes. Le régulateur est programmé avec un dispositif de programmation, par le biais d'un câble de transfert de données. Ce qui permet d'effectuer les ajustages de la fonction thermostatique, du service de jour/nuit, de la fonction de dégivrage, des fonctions d'économie énergétique et des fonctions de sécurité.

Le logiciel de simulation permet d'introduire la température extérieure, de sélectionner le réfrigérant et d'ouvrir/fermer la porte du congélateur. Le menu "évolution de temps" permet d'afficher les états de fonctionnement de chacun des composants et d'enregistrer les évolutions de la température et de la pression.

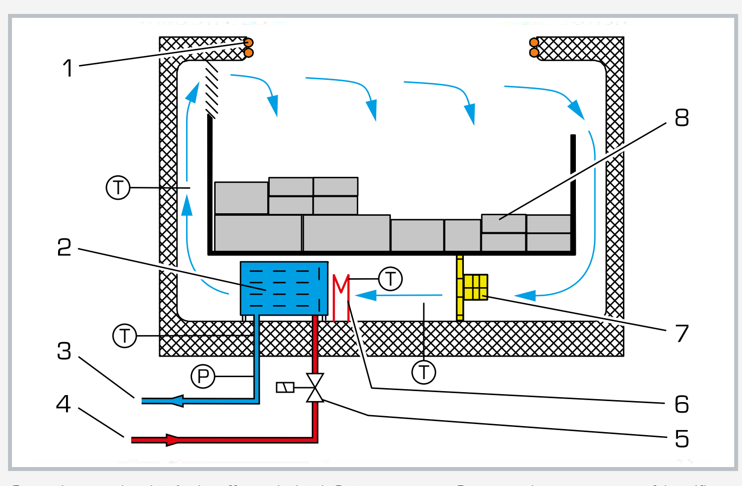
Des composants réels supplémentaires comme la soupape de détente, les capteurs de pression et de température appuient la démonstration et renforcent la relation avec la pratique.

Contenu didactique/essais

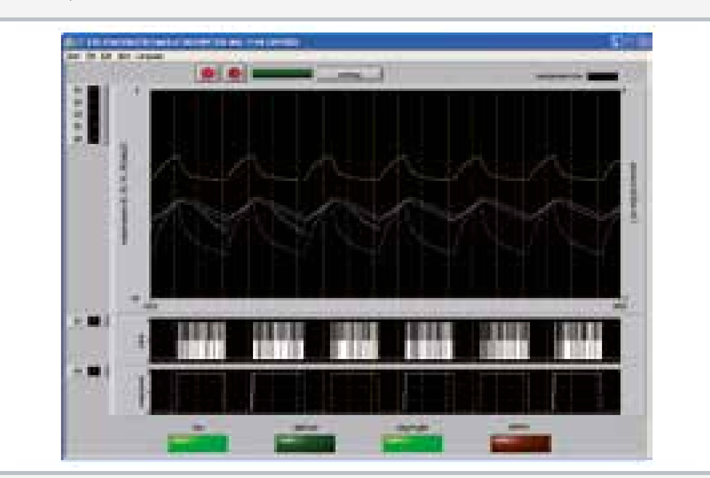
- régulateur moderne de réfrigération avec soupape de détente électronique
- fonctionnement du régulateur
  - fonction thermostatique
  - service de jour/nuit
  - fonctionnement avec porte du congélateur ouverte ou fermée
  - fonctions de dégivrage
  - fonctions de sécurité
  - fonctions d'alarme
  - surveillance des composants
- programmation du régulateur
- recherche de pannes

ET 930
Régulation de l'évaporateur avec soupape de détente électronique

1 capteur de pression, 2 soupape de détente électronique, 3 affichage du régulateur de réfrigération, 4 capteur de température, 5 schéma du congélateur simulé



Congélateur simulé: 1 chauffage de bâti, 2 évaporateur, 3 raccordement groupe frigorifique côté d'aspiration, 4 raccordement groupe frigorifique côté de refoulement, 5 soupape de détente, 6 chauffage de dégivrage électrique, 7 ventilateur, 8 denrée réfrigérée; T température, P pression



Capture d'écran du logiciel de simulation: évolutions de la température (en haut), états de commutation (en bas)

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] étude et programmation d'un régulateur de réfrigération industriel en se basant sur l'exemple d'un congélateur
[3] simulation du congélateur avec le logiciel
[4] schéma figurant sur le panneau avant avec des lampes montrant les états de fonctionnement des actionneurs
[5] programmation du régulateur de réfrigération avec un dispositif de programmation
[6] congélateur simulé avec compresseur, soupape de détente électronique, ventilateur, chauffage de dégivrage électrique pour l'évaporateur, chauffage de bâti, capteurs de pression et de température
[7] composants réels du congélateur à des fins de démonstration: 1 soupape de détente électronique, 1 capteur de pression, 2 capteurs de température
[8] logiciel GUNT pour l'acquisition de données via USB sous Windows 7, 8.1, 10

Caractéristiques techniques

Fonctions du régulateur de réfrigération
- fonction thermostatique
- service de jour/nuit
- fonctions de dégivrage
- messages et alarmes
- fonctionnement du ventilateur
- fonctions d'économie énergétique
- fonctions de sécurité

Capteurs simulés
- température de l'air avant l'évaporateur
- température de l'air après l'évaporateur
- température à la surface de l'évaporateur
- température du réfrigérant avant le compresseur
- pression du réfrigérant avant le compresseur

Fonctions du logiciel de simulation
- introduction de la température extérieure
- ouverture/fermeture de la porte
- sélection du réfrigérant
- intervalles de temps pour la pression et les températures

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 660x350x570mm
Poids: env. 30kg

Nécessaire pour le fonctionnement

PC avec Windows

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 CD avec logiciel GUNT + câble USB
1 documentation didactique

ET 172
Pannes électriques sur des compresseurs d'agent réfrigérant



Description

- **compresseur d'agent réfrigérant réel issu de la pratique**
- **étude de composants électriques importants issus du génie frigorifique**
- **simulation de 15 pannes**

Des connaissances larges sont nécessaires pour identifier les pannes dans les installations frigorifiques. Outre la structure et la fonction des différents composants électriques, la lecture des schémas de connexion fait partie de ces connaissances. Ces connaissances peuvent être acquises avec le ET 172.

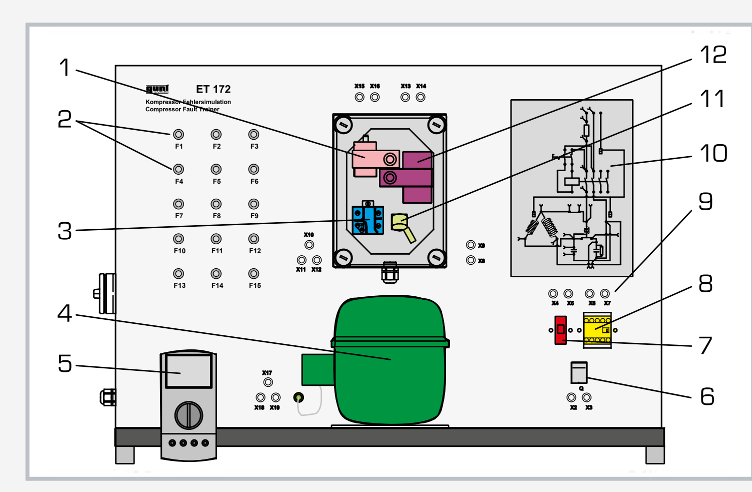
Les composants électriques servant au démarrage et au fonctionnement du compresseur d'agent réfrigérant sont disposés de manière bien visible dans une armoire de commande transparente et sont déjà câblés. Le condensateur nécessaire au démarrage du moteur et le relais de démarrage sont étudiés. Des dispositifs de protection typiques comme le disjoncteur et le coupe-circuit automatique sont également disposés de manière bien visible.

Il est possible de simuler 15 pannes différents, comme par ex. une rupture de bobine dans le moteur, un court-circuit dans le condensateur de service ou des contacts soudés dans le relais de démarrage. Pour l'identification de panne, on surveille les tensions ou les résistances des connecteurs de laboratoire à l'aide d'un multimètre. L'affichage du schéma de connexion sur le panneau avant facilite l'affectation des points de mesure.

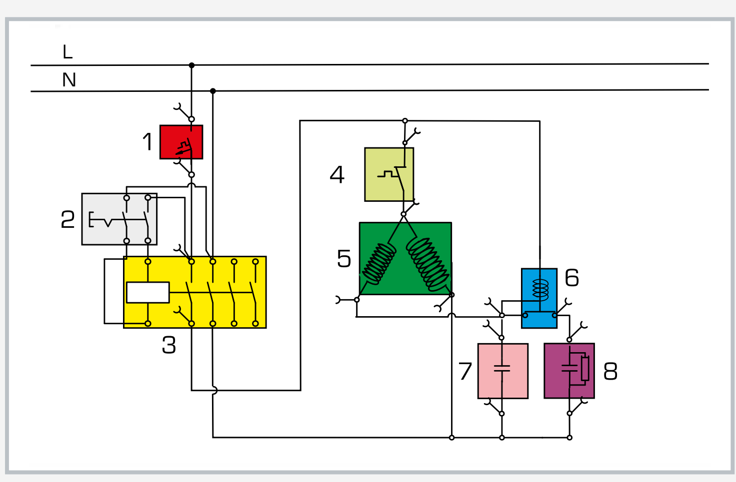
Contenu didactique/essais

- raccordement électrique de compresseurs d'agent réfrigérant
- lire et comprendre des schémas de connexion électrique
- structure et fonction des composants électriques d'un compresseur d'agent réfrigérant
  - condensateur de démarrage
  - relais de démarrage
  - condensateur de service
  - protection thermique
  - contacteur de puissance
  - coupe-circuit automatique
- recherche de pannes sur les composants électriques
  - hors tension
  - sous tension du réseau

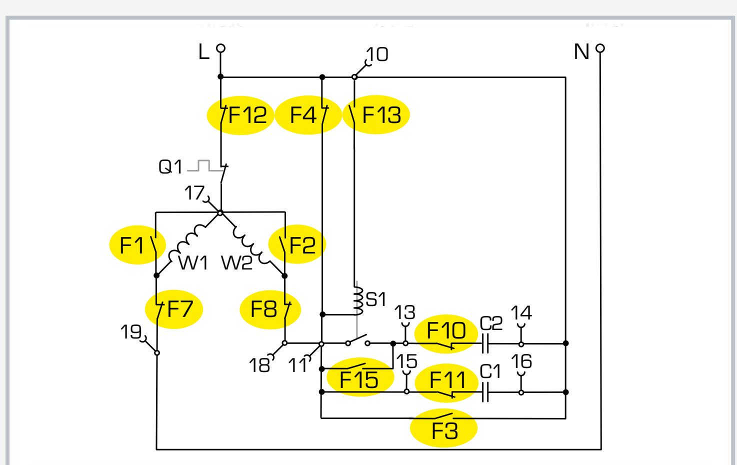
ET 172
Pannes électriques sur des compresseurs d'agent réfrigérant



1 condensateur de service, 2 boutons-poussoirs des pannes, 3 relais de démarrage, 4 compresseur d'agent réfrigérant, 5 multimètre, 6 interrupteur principal, 7 coupe-circuit automatique, 8 contacteur de puissance, 9 connecteurs de laboratoire, 10 schéma de connexion, 11 protection thermique, 12 condensateur de démarrage



1 coupe-circuit automatique, 2 interrupteur principal, 3 contacteur de puissance, 4 protection thermique, 5 compresseur d'agent réfrigérant, 6 relais de démarrage, 7 condensateur de service, 8 condensateur de démarrage



Simulation de pannes sur le compresseur: F1, F7 panne bobine principale, F2, F8 panne bobine auxiliaire, F3, F10, F11 panne condensateur de service/de démarrage, F12 protection thermique défectueux, F13, F15 relais de démarrage défectueux

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] étude des composants électriques servant au fonctionnement d'un compresseur d'agent réfrigérant
[3] compresseur d'agent réfrigérant réel issu de la pratique
[4] composants électriques servant au démarrage et au fonctionnement du compresseur disposés dans une armoire de commande transparente
[5] dispositifs généraux de sécurité montés de manière bien visible
[6] schéma de connexion figurant sur le panneau avant
[7] identification de 15 pannes: le multimètre mesure les tensions et résistances au niveau des connecteurs de laboratoire
[8] agent réfrigérant R449A, GWP: 1397

Caractéristiques techniques

Compresseur d'agent réfrigérant
- puissance absorbée: env. 870W

Composants électriques pour compresseur
- condensateur de démarrage
- relais de démarrage
- condensateur de service
- protection thermique (bimétal)

Dispositifs de sécurité généraux
- contacteur de puissance
- coupe-circuit automatique

Agent réfrigérant
- R449A
- GWP: 1397
- volume de remplissage: 80g
- équivalent CO_2: 0,1t

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 900x400x650mm
Poids: env. 60kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 multimètre
1 documentation didactique

ET 174

Pannes électriques sur des installations de climatisation complètes



Description

- **simulation du montage électrique d'une installation de climatisation complexe avec humidification et fonction de pompe à chaleur**
- **étude des composants électriques importants issus du génie frigorifique**
- **simulation de 30 pannes**

Des connaissances larges sont nécessaires pour identifier les pannes dans les installations frigorifiques. Outre la structure et la fonction des différents composants électriques, la lecture des schémas de connexion fait partie de ces connaissances. Ces connaissances peuvent être acquises avec le ET 174.

Le ET 174 montre le montage électrique d'une installation de climatisation complète avec fonction de pompe à chaleur. Les circuits de commande sont vraiment présents. Les composants des circuits de courant de charge (par ex. compresseur, dispositif de chauffage, vanne d'inversion à quatre voies) sont simulés.

L'installation de climatisation avec fonction de pompe à chaleur refroidit en été et chauffe en hiver. En mode de chauffage, l'horloge de commutation de dégivrage déclenche le dégivrage par gaz chauds en commutant brièvement la vanne d'inversion à quatre voies. Lorsque les températures extérieures sont très basses, un chauffage électrique supplémentaire est activé en mode de chauffage. En cas de faible humidité de l'air, l'hygrostat active la fonction d'humidification.

Des dispositifs de protection typiques tels que des disjoncteurs et des dispositifs de détection de protection antigel viennent compléter le montage électrique. L'état de fonctionnement des composants simulés est affiché par des lampes sur le schéma de connexion qui figure sur le panneau avant.

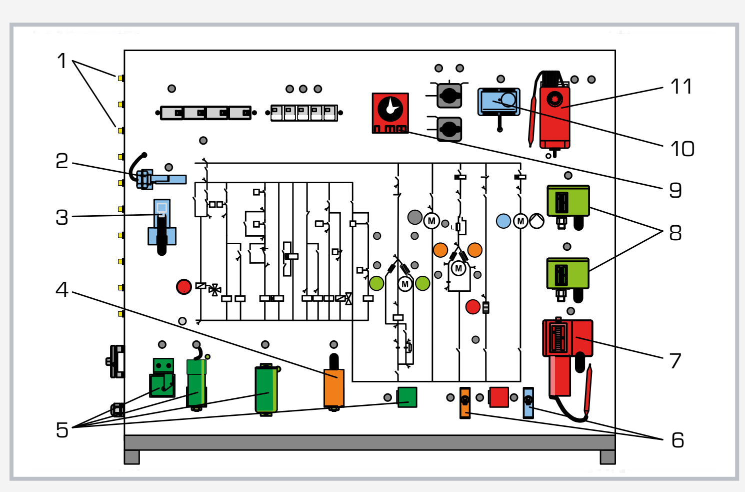
Il est possible de simuler 30 pannes différents, comme par ex. une rupture de bobine dans le moteur ou des relais défectueux. Pour l'identification de panne, on surveille les tensions ou les résistances des connecteurs de laboratoire à l'aide d'un multimètre. L'affichage du schéma de connexion sur le panneau avant facilite l'affectation des points de mesure.

Contenu didactique/essais

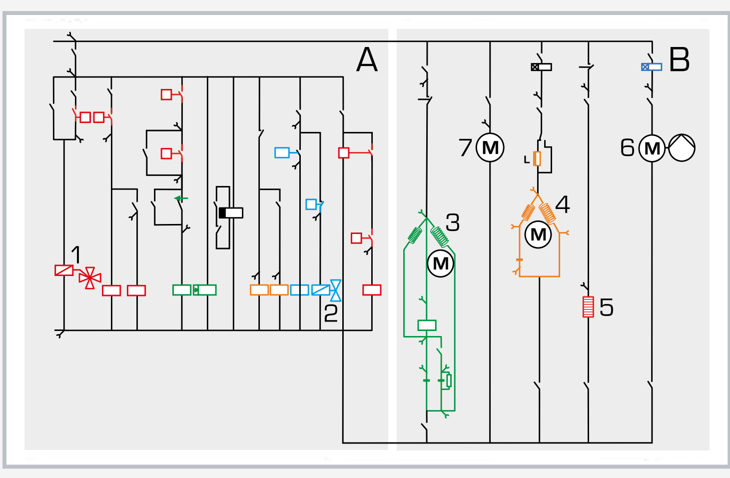
- montage électrique et fonctionnement d'installations de conditionnement d'air complètes
- lire et comprendre des schémas de connexion électrique
- structure et fonction des composants électriques d'une installation de climatisation
  - condensateur de démarrage
  - relais de démarrage
  - condensateur de service
  - protection thermique
  - disjoncteur Heinemann
  - électrovanne
  - horloge de commutation de dégivrage
  - interrupteur à flotteur
  - thermostat
  - hygrostat
  - dispositif de détection de protection antigel
- recherche de pannes sur les composants électriques
  - hors tension
  - sous tension du réseau

ET 174

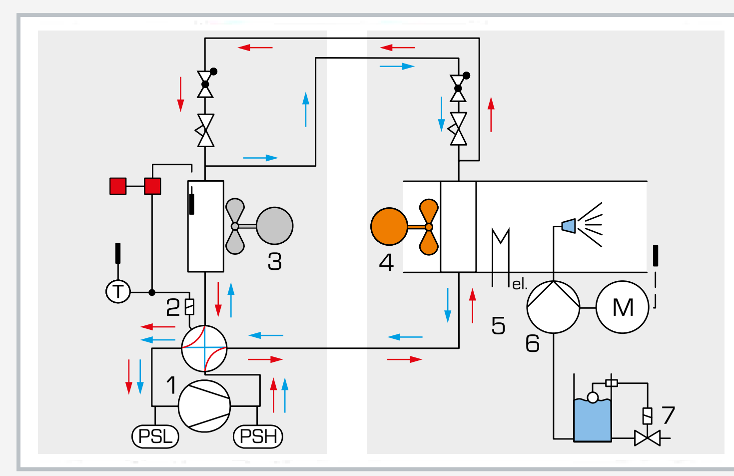
Pannes électriques sur des installations de climatisation complètes



1 boutons-poussoirs des pannes, 2 interrupteur à flotteur, 3 électrovanne de l'humidificateur, 4 condensateur de démarrage du ventilateur d'air ambiant, 5 éléments électriques du compresseur, 6 disjoncteur pour ventilateur d'air ambiant et pompe de l'humidificateur, 7 dispositif de détection de protection antigel, 8 pressostat du compresseur, 9 minuteur de dégivrage, 10 hygrostat, 11 thermostat



A circuit de commande, B circuit de courant de charge; 1 vanne d'inversion à quatre voies chauffage/refroidissement, 2 électrovanne de l'humidificateur, 3 compresseur, 4 ventilateur d'air ambiant, 5 chauffage supplémentaire, 6 pompe de l'humidificateur, 7 ventilateur d'air extérieur



Installation de climatisation simulée: 1 compresseur, 2 vanne d'inversion à quatre voies chauffage/refroidissement, 3 ventilateur d'air extérieur, 4 ventilateur d'air ambiant, 5 chauffage supplémentaire, 6 pompe de l'humidificateur, 7 électrovanne de l'humidificateur

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] simulation du montage électrique d'une installation de climatisation complexe avec humidification et fonction de pompe à chaleur pour le chauffage, le refroidissement et l'humidification
[3] circuits de commande réels avec composants électriques, circuits de courant de charge
[4] simulation électrique du compresseur, de 2 ventilateurs (air ambiant, air extérieur), d'une vanne d'inversion à quatre voies, d'un chauffage supplémentaire
[5] humidification avec hygrostat, électrovanne et commutateur à flotteur (pompe simulée)
[6] dégivrage par gaz chauds par la commutation de la vanne d'inversion à quatre voies
[7] états de fonctionnement des composants simulés indiqués par le biais de lampes sur le schéma de connexion
[8] schéma de connexion figurant sur panneau avant
[9] identification de 30 pannes: le multimètre mesure les tensions et résistances au niveau des connecteurs de laboratoire

Caractéristiques techniques

Thermostat pour la commutation chauffage/ refroidissement, plage de mesure: 1...60°C
Composants électriques du compresseur
- relais de démarrage
- condensateur de démarrage
- condensateur de service
- protection thermique
- 2 pressostats

Composants électriques pour ventilateur d'air ambiant
- condensateur de démarrage
- disjoncteur Heinemann

Composants de l'humidification
- hygrostat: plage de mesure 30...100% h.r.
- interrupteur à flotteur
- électrovanne; disjoncteur Heinemann

Composants de dégivrage
- dispositif de détection de protection antigel: -10...12°C
- programmateur: temps caractéristique de fonctionnement 10...60min

Disjoncteur pour chauffage supplémentaire

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 1050x400x860mm
Poids: env. 48kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 multimètre + jeu d'accessoires
1 documentation didactique

ET 170

Pannes électriques sur des installations de climatisation simples



Description

- **simulation d'une installation de climatisation simple avec compresseur, ventilateur et thermostat**
- **étude des composants électriques importants issus du génie frigorifique**
- **simulation de 15 pannes**

Des connaissances larges sont nécessaires pour identifier les pannes dans les installations frigorifiques. Outre la structure et la fonction des différents composants électriques, la lecture des schémas de connexion fait partie de ces connaissances. Ces connaissances peuvent être acquises avec le ET 170.

Le ET 170 montre le montage électrique d'une installation de climatisation simple, composée principalement d'un compresseur d'agent réfrigérant et d'un ventilateur sur le refroidisseur d'air. Les circuits de commande sont vraiment présents. Les moteurs du compresseur et du ventilateur sont simulés.

La commande du compresseur se fait par l'intermédiaire d'un thermostat. Un bloc d'alimentation permet de régler la vitesse de rotation du moteur du ventilateur sur deux niveaux. Le démarrage du moteur du compresseur s'effectue par le biais d'un relais de démarrage et d'un condensateur de démarrage.

Des dispositifs de protection typiques tels que des disjoncteurs viennent compléter le montage électrique. L'état de fonctionnement des composants simulés (compresseur et ventilateur) est affiché par des lampes sur le schéma de connexion qui figure sur le panneau avant.

Il est possible de simuler 15 pannes différents, comme par ex. une rupture de bobine dans le moteur ou un contact de commutation défectueux. Pour l'identification de panne, on surveille les tensions ou les résistances des connecteurs de laboratoire à l'aide d'un multimètre.

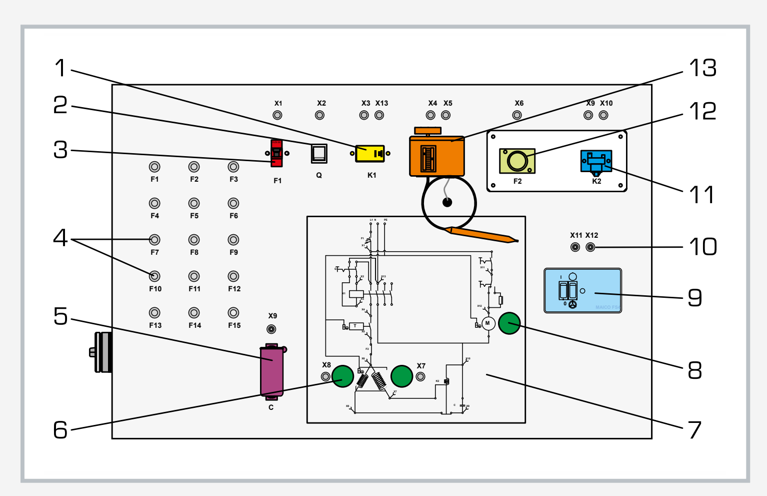
L'affichage du schéma de connexion sur le panneau avant facilite l'affectation des points de mesure.

Contenu didactique/essais

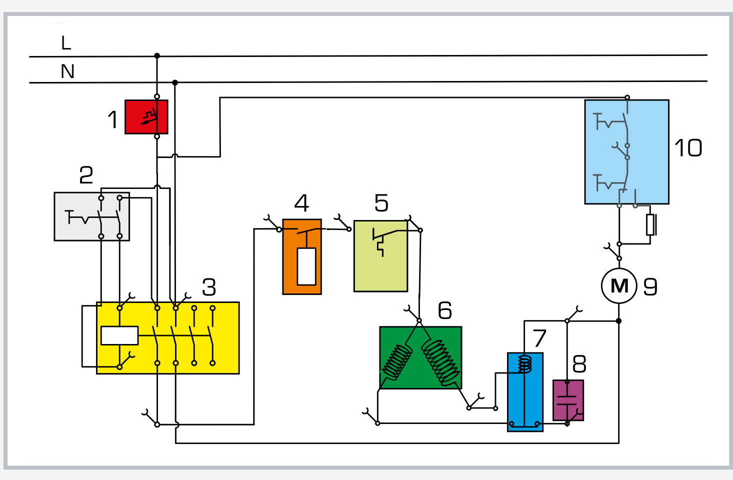
- montage électrique et fonctionnement d'installations de climatisation simples
- lire et comprendre des schémas de connexion électrique
- structure et fonction des composants électriques d'une installation de climatisation
  - condensateur de démarrage
  - relais de démarrage
  - protection thermique
  - contacteur de puissance
  - coupe-circuit automatique
  - contacteur/disjoncteur
  - commutateur de vitesse de rotation
  - thermostat
- recherche de pannes sur les composants électriques
  - hors tension
  - sous tension du réseau

ET 170

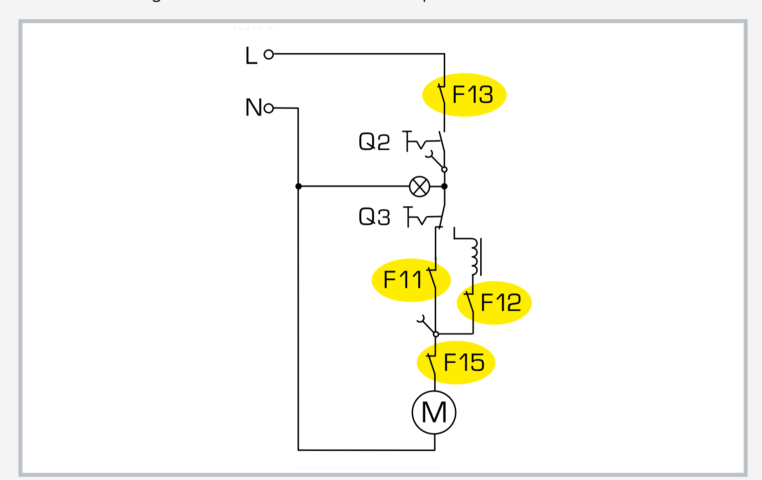
Pannes électriques sur des installations de climatisation simples



1 contacteur de puissance, 2 interrupteur principal, 3 coupe-circuit automatique, 4 boutons-poussoirs des pannes, 5 condensateur de démarrage, 6 lampe du compresseur simulé, 7 schéma de connexion, 8 lampe du ventilateur simulé, 9 interrupteur du ventilateur, 10 connecteurs de laboratoire, 11 relais de démarrage, 12 protection thermique, 13 thermostat



1 coupe-circuit automatique, 2 interrupteur principal, 3 contacteur de puissance, 4 thermostat, 5 protection thermique, 6 compresseur simulé, 7 relais de démarrage, 8 condensateur de démarrage 9 ventilateur simulé, 10 interrupteur du ventilateur



Pannes du ventilateur: F11 vitesse élevée défectueuse, F12 basse vitesse défectueuse, F13 pas d'alimentation électrique, F15 moteur du ventilateur défectueux

Spécification

[1] appareil d'essai provenant de la ligne d'essai GUNT pour la formation des mécatroniciens frigoristes
[2] simulation du montage électrique d'une installation de climatisation simple pour le refroidissement
[3] circuits de commande réels avec composants électriques, circuits de courant de charge
[4] simulation électrique du compresseur et du ventilateur
[5] régulation de température avec le thermostat et le compresseur
[6] ventilateur avec 2 vitesses de rotation réglables
[7] états de fonctionnement des composants simulés indiqués par le biais de lampes sur le schéma de connexion
[8] schéma de connexion figurant sur le panneau avant
[9] identification de 15 pannes: Le multimètre mesure les tensions et résistances au niveau des connecteurs de laboratoire

Caractéristiques techniques

Compresseur simulé
- courant de démarrage: > 3A

Composants électriques pour compresseur
- condensateur de démarrage
- relais de démarrage
- protection thermique (bimétal)

Composants électriques pour ventilateur
- contacteur/disjoncteur
- commutateur de vitesse de rotation

Thermostat: -5...35°C

Dispositifs de sécurité généraux
- contacteur de puissance
- coupe-circuit automatique

230V, 50Hz, 1 phase
230V, 60Hz, 1 phase; 120V, 60Hz, 1 phase
UL/CSA en option
Lxlxh: 900x400x650mm
Poids: env. 30kg

Liste de livraison

1 appareil d'essai
1 multimètre
1 documentation didactique



Symboles et termes

Dans le cadre du génie frigorifique et du génie climatique, on utilise des symboles normalisés pour les schémas de processus. Pour le génie frigorifique, il convient d'appliquer la norme EN 1861 installations frigorifiques et pompes à chaleur et pour le génie climatique, il convient d'appliquer la norme DIN 1946 technique de l'air ambiant. Sur cette page, on présente les symboles qui sont le plus fréquemment utilisés dans le présent catalogue. L'énumération ne montre qu'un extrait des symboles disponibles.

Génie frigorifique

Compresseurs et pompes

Compresseur, en général	Ventilateur axial
Compresseur à piston	Pompe, en général avec moteur
Compresseur scroll	Pompe centrifuge
Compresseur à éjection de vapeur	Pompe à piston

Échangeurs de chaleur

Échangeur de chaleur, en général	Échangeur de chaleur à plaques
Échangeur de chaleur à tubes à ailettes	Échangeur de chaleur à tubes à ailettes refroidi par air avec ventilateur axial
Échangeur de chaleur coaxial	Tour de refroidissement par voie humide avec ventilateur axial aspirant

Reservoirs

Réservoir, en général Réservoir avec chauffage électrique (el.)	Collecteur, réservoir à pression

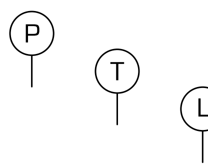
Éléments de verrouillage et étranglement

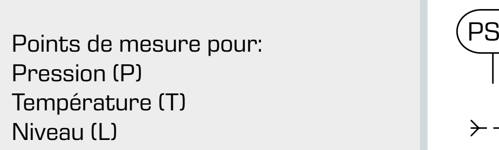
Vanne, en général Robinet à tournant sphérique	Soupape avec comportement de réglage continu Vanne de régulation avec moteur
Soupape de retenue Soupape de sûreté	Soupape de détente thermostatique avec capteur capillaire (TC)
Filtre à liquides Filtre de lit fixe, par exemple, filtre/sécheur	Voyant avec indicateur d'humidité
Séparateur, en général Séparateur de chicane déflectrice	Soupape à pression constante, comme régulateur de pression d'aspiration, de pression d'évaporation ou comme régulateur de puissance (PC)

Génie climatique

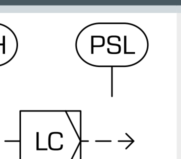
Chambre de distribution Chambre de mélange	Refroidisseur d'air, en général Refroidisseur d'air avec évaporateur direct
Élément de filtre Silencieux à coulisse	Humidificateur d'air de vapeur, chauffé électriquement Humidificateur d'air pulvérisé avec séparateur de gouttes et pompe
Clapet d'éléments, clapet à moteur Clapet coupe-feu	Refroidisseur d'eau avec installation frigorifique à compression
Ventilateur axial Ventilateur radial	Réchauffeur d'air, chauffé électriquement Chaudière

Technique de mesure et de régulation





Points de mesure pour:
Pression (P)
Température (T)
Niveau (L)



Pressostat pour haute pression (PSH) et pour basse pression (PSL)

Appareil de régulation pour niveau avec chemin de signal

Le programme complet GUNT – équipements pour l'enseignement technique



Mécanique appliquée et conception mécanique

- statique
- résistance des matériaux
- dynamique
- dynamique des machines
- conception mécanique
- essai des matériaux



Mécatronique

- dessin industriel
- modèles en coupe
- métrologie
- technique d'assemblage et d'ajustage
- techniques de production
- kits d'assemblage
- maintenance
- diagnostic de machines
- automatisation et conduit de procédés



Génie thermique et énergie

- principes de base de la thermodynamique
- applications thermo-dynamiques en CVC
- énergies renouvelables
- machines à fluide thermiques
- génie frigorifique et génie climatique



Mécanique des fluides

- écoulement stationnaire
- écoulement non stationnaire
- écoulements autour de corps
- machines à fluide
- éléments de construction de tuyauteries et d'installations industrielles
- génie hydraulique



Génie de procédés

- génie des procédés mécaniques
- génie des procédés thermiques
- génie des procédés chimiques
- génie des procédés biologiques
- traitement de l'eau



2E Energy & environment

Energy

- énergie solaire
- énergie hydraulique et énergie marine
- énergie éolienne
- biomasse
- géothermie
- systèmes énergétiques
- éfficacité énergétique en génie du batîment

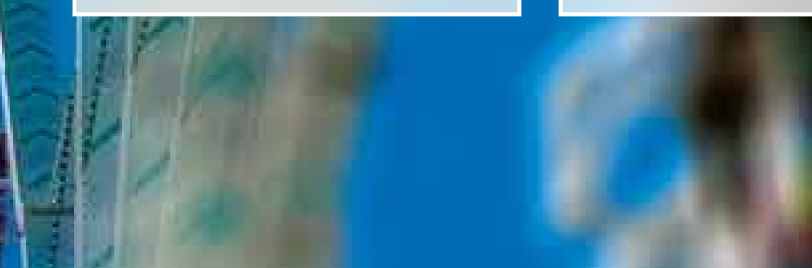
Environment

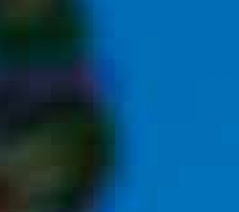
- eau
- air
- sol
- déchets



Planification et conseils · Service technique
Mise en service et formation









Répartition des appareils GUNT
selon les champs d'apprentissage dans le cadre de la formation
pour devenir mécatronicien spécialiste en génie frigorifique

Génie frigorifique

Champ d'apprentissage	Code (page)
Liens fonctionnels dans le circuit frigorifique	ET 101 (16)
	ET 102 (140)
	ET 400 (32)
	ET 411C (28)
	ET 350 (30)
	ET 352 (20/160)
	ET 900 (38)
	ET 910 (40)
	ET 910.10 (42)
	ET 910.11 (44)
	ET 915.01 (64)
	ET 915.02 (66)
	ET 480 (24/166)
	ET 120 (18)
	ET 122 (22)
	ET 405 (100/144)
	HL 320.01 (146)
	ET 256 (158)
Thermodynamique, diagramme log p,h	ET 350 (30)
	ET 351C (74)
	ET 412C (76)
	ET 430 (78)
	ET 441 (80)
	ET 420 (152)
	ET 256 (158)
Régulateurs primaires et secondaires	ET 180 (108)
	ET 181 (110)
	ET 182 (112)
	ET 411C (28)
	ET 422 (132)
	ET 426 (106)
	ET 499.18 (122)
	ET 499.19 (122)
	ET 499.26 (122)

Champ d'apprentissage	Code (page)
Échangeurs de chaleur	ET 431 (98)
	ET 405 (100/144)
	ET 499.30 (120)
Compresseurs	ET 165 (90)
	ET 192 (128)
	ET 428 (94)
	ET 432 (92)
	ET 499.01 (121)
	ET 499.02 (121)
	ET 499.03 (121)
Tuyauterie	MT 210 (126)
	ET 460 (118)
	ET 499.12 (121)
	ET 499.13 (121)
	ET 499.14 (121)
	ET 499.16 (122)
	ET 499.21 (122)
	ET 499.25 (122)
Fabrication de systèmes partiels mécaniques	MT 210 (126)
	ET 192 (128)
	ET 910 (40)
	ET 910.10 (42)
	ET 910.11 (44)
Dépannage, maintenance et élimination	ET 411C (28)
	ET 412C (76)
	ET 192 (128)
	ET 150.01 (134)
	ET 150.02 (135)
	ET 422 (132)
	MT 210 (126)



Génie climatique

Champ d'apprentissage	Code (page)
Étude des états de l'air	WL 201 (172)
	WL 320 (176)
Liens fondamentaux en ventilation et climatisation	ET 915.06 (182)
	ET 915.07 (184)
	HL 710 (224)
	WL 312 (220)
	HM 220 (212)
Éléments de construction et fonctionnement de l'installation de climatisation	ET 600 (192)
	ET 605 (188)
	ET 611 (196)
	ET 915.06 (182)
	ET 915.07 (184)
	ET 450 (198)
	ET 630 (200)

Champ d'apprentissage	Code (page)
Climatisation, diagramme h,x	ET 915.06 (182)
	ET 915.07 (184)
	ET 600 (192)
	ET 605 (188)
	ET 611 (196)
Circuit d'air dans le système de conduits	HM 280 (204)
	HM 282 (206)
	HM 210 (208)
	HM 240 (216)
	HM 220 (212)
	HL 710 (224)
	HL 720 (226)
Économie d'énergie	ET 428 (94)
	ET 420 (152)
	ET 256 (158)
	HL 313 (164)



Électrotechnique en génie frigorifique et génie climatique

Champ d'apprentissage	Code (page)
Bases de l'électrotechnique	ET 144 (232)
	ET 171 (234)
Consommateurs sur le courant alternatif monophasé	ET 170 (242)
	ET 171 (234)
Protection contre les risques électriques	ET 144 (232)
Commandes simples en génie frigorifique	ET 144 (232)
	ET 171 (234)
	ET 174 (240)
Entraînements électriques et recherche de pannes	ET 144 (232)
	ET 170 (242)
	ET 171 (234)
	ET 172 (238)
	ET 174 (240)

Champ d'apprentissage	Code (page)
Régulation d'installations frigorifiques	ET 174 (240)
	ET 441 (80)
	ET 605 (188)
	ET 611 (196)
	ET 930 (236)
Automatisation de bâtiments	ET 605 (188)
	ET 611 (196)



Index

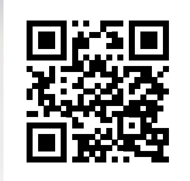


Aperçu de produits

Contact

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15 – 17
D-22885 Barsbüttel
Allemagne

Tél. +49 (0)40 67 08 54 - 0
Fax +49 (0)40 67 08 54 - 42
Email sales@gunt.de
Web www.gunt.de



Consultez notre
page d'accueil
www.gunt.de